



João Pedro Ventura Orvalho Tirapicos Sabarigo

Contributo para a eficiência energética em obras de reabilitação de edifícios

Dissertação para obtenção do grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel José das Neves Pires Amado, Professor Auxiliar,
FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato

Vogal: Prof. Doutor Miguel José das Neves Pires Amado



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Maio 2012

“Copyright” de João Pedro Ventura Orvalho Tirapicos Sabarigo, FCT/UNL e UNL

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado, orientador da presente dissertação, pela disponibilidade, incentivo e apoio demonstrados ao longo de todo o trabalho. Os conhecimentos e experiência por ele partilhados foram determinantes para a realização desta dissertação.

Ao Professor Doutor Daniel Aelenei da Faculdade de Ciências e Tecnologia, ao David Goldwasser do U.S. Department of Energy - National Renewable Energy Laboratory e ao Engenheiro Miguel Ganhão pela informação disponibilizada referente ao programa *EnergyPlus*. Ao Professor Doutor Fernando Pinho e à Professora Doutora Paulina Faria da Faculdade de Ciências e Tecnologia pela disponibilidade de informação referente a diversas soluções construtivas. Ao Arquitecto João Branco Pedro e ao Engenheiro António Vilhena do LNEC pela informação disponibilizada referente ao *Método de Avaliação do estado de Conservação de Imóveis* e ao Arquitecto Jorge Graça Costa pelo fornecimento de informação referente à solução construtiva *Parede de Água*.

Gostaria também de agradecer ao Professor Doutor Fernando Henriques e ao Engenheiro Jerónimo Vieira Lopes pela forma como contribuíram para a minha formação e para o meu crescente interesse pela Engenharia Civil.

Por fim gostaria de agradecer aos meus pais, irmã, namorada e amigos por todo o apoio e motivação constantes durante este trabalho e todo o meu percurso universitário.

RESUMO

O parque edificado português apresenta, apesar do seu baixo índice de envelhecimento, grandes necessidades de reabilitação. Ao longo das últimas décadas, ao contrário do que têm sido as suas necessidades, o peso das obras de reabilitação de edifícios relativamente ao peso das obras de construção nova tem sido bastante baixo.

A ineficiência energética é uma das principais anomalias do parque edificado. Para além das consequências que esta tem para o conforto dos ocupantes, a elevada dependência energética de Portugal, o constante aumento dos preços dos recursos energéticos e o impacto que a produção de energia tem para o ambiente tornam esta situação insustentável. A resolução desta problemática impõe que em obras de reabilitação de edifícios se adotem procedimentos da Construção Sustentável.

Considerando o objectivo da identificação de melhorias que sendo introduzidas possam promover o aumento da eficiência energética dos edifícios existentes, foi desenvolvida uma metodologia que permitisse, em primeiro lugar, identificar quais as necessidades de intervenção nos elementos funcionais dos edifícios e qual o potencial da optimização do seu desempenho energético, de modo a que posteriormente sejam identificadas as medidas possíveis de implementar com vista à melhoria do desempenho energético dos edifícios e por fim que se garanta uma análise custo benefício das medidas propostas como forma de suportar o processo de tomada de decisão.

Para proceder à avaliação do desempenho energético da solução base e de cada medida é proposta a realização de uma análise dinâmica com recurso ao programa EnergyPlus para comparação posterior dos valores das necessidades energéticas globais da solução base com os valores das necessidades energéticas globais associadas à implementação de cada medida.

Com o objectivo de validar a metodologia desenvolvida procedeu-se à sua aplicação em caso de estudo numa fracção autónoma de uma habitação multifamiliar, onde foram implementadas as medidas de substituição de um vão envidraçado por uma Parede de Água, sombreamento integral de um vão envidraçado, definição de um padrão de ventilação natural nocturna e optimização dos vãos envidraçados.

Os resultados obtidos demonstram que a optimização do desempenho energético numa habitação cujas soluções construtivas iniciais têm um bom desempenho térmico é bastante difícil de se conseguir apenas com recurso a soluções passivas.

Termos chave: Eficiência Energética, Necessidades energéticas, Simulação, Construção Sustentável, EnergyPlus

ABSTRACT

The Portuguese housing has, besides his low aging rate, major rehabilitation needs. Over the past decades, contrary to what have been the Portuguese housing needs, the weight of the rehabilitation of buildings, considering the number of works of new construction, has been quite low.

The energy inefficiency is a major problem in Portuguese housing. Apart from the consequences that this has for the comfort of the occupants, the high energy dependency of Portugal, the constant rising in the prices of energy resources and the impact that energy production has on the environment, makes this an untenable situation. Addressing this problem requires that buildings being rehabilitated have to adopt procedures of Sustainable Construction.

Considering the aim of the work which is identifying improvements that can promote increased energy efficiency in existing buildings, there has been developed a methodology that allows to identify the needs for action in the functional elements of buildings and, then, define what is the potential of optimization energy performance. This process makes possible to identify measures to implement than can improve the energy performance of buildings and, ultimately, ensure that a cost-benefit analysis of proposed measures to implement helps to support the process of decision making.

To evaluate the energy performance of the base solution and the measure implemented in the building it is proposed, in this work, carry out a dynamic analysis using the program EnergyPlus. This program will offer further comparison of the values of the overall energy requirements of the base solution, with the values of the overall energy requirements associated to the implementation of each measure.

In order to validate this methodology, was applied it in a case study unit of a multifamily dwelling, where the measures were implemented to replace an glazing with a wall of water, total shading of the glazing, definition of night natural ventilation and glazing optimization.

The results show that the optimization of energy performance in housing whose initial constructive solutions already have a good thermal performance is very difficult to improve only with the use of passive solutions.

KeyWords: Energy Efficiency, Energy requirements, Simulation, Sustainable Construction, EnergyPlus

Índice

1.INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema.....	1
1.2 Objectivo	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2. ESTADO DA ARTE.....	5
2.1 Parque edificado Português	5
2.1.1 Distribuição dos Alojamentos	5
2.1.2 Regime de ocupação.....	7
2.1.3 Tipologia de habitações.....	8
2.1.4 Idade do parque edificado	9
2.1.5 Estado de conservação do parque edificado.....	10
2.1.5.1 Método de avaliação do estado de conservação de edifícios	11
2.1.6 Carências qualitativas e quantitativas do parque habitacional	12
2.1.7 Tipo de obras.....	13
2.2 Reabilitação urbana	14
2.2.1 Enquadramento	14
2.2.2 Programas de reabilitação	19
2.3 Principais anomalias do parque edificado.....	22
2.3.1 Humidade	23
2.3.2 Fendilhação	24
2.3.3 Deficiência qualidade do ar	25
2.3.4 Ineficiência energética.....	26
2.3.4.1 Envolvente dos Edifícios.....	27
2.3.4.2 Iluminação natural.....	31
2.3.4.3 Iluminação artificial	32
2.3.4.4 Equipamentos	33
2.3.5 Consumo excessivo de Água.....	34

2.2.6 Falta de durabilidade dos materiais	36
2.4 Certificação energética do parque construído	36
2.4.1 Enquadramento	36
2.4.2 RSECE	42
2.4.3 RCCTE.....	43
2.4.4 Directiva Europeia 2010/31	45
2.5 Construção sustentável como veículo para a melhoria da situação actual	46
2.5.1 Enquadramento	46
2.5.2 Conceito de construção sustentável.....	48
2.5.3 Metodologia de implementação da construção sustentável.....	49
2.5.4 Soluções Construtivas Sustentáveis	52
2.5.4.1 Sistemas solares passivos	53
2.5.4.2 Reutilização de águas pluviais	55
2.5.6 Sistemas de Certificação da Construção Sustentável	56
2.5.6.1 LiderA	56
2.5.6.2 BREEAM	57
2.5.6.3 LEED.....	57
2.6 Soluções construtivas mais comuns nos edifícios construídos.....	58
2.6.1 Enquadramento	58
2.6.2 Parede dupla de alvenaria de tijolo.....	60
2.6.3 Sistema ETICS	60
2.6.4 Comparação de soluções construtivas	61
2.7 Síntese	62
3. PROPOSTA METODOLÓGICA DE INTERVENÇÃO.....	65
3.1 Objectivo da proposta.....	65
3.2. Metodologia de implementação do MAEC.....	66
3.3 Avaliação do desempenho energético	68
3.4 Metodologia de identificação das medidas possíveis de implementar	71
3.4.1 Medidas possíveis de implementar.....	72

3.5 Balço energético das medidas de melhoria propostas	74
3.6 Análise custo-benefício das medidas de melhoria	75
4. APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO	79
4.1 Objectivo de validar a proposta.....	79
4.2 Descrição do caso de estudo.....	79
4.3 Implementação do MAEC.....	83
4.3 Avaliação do desempenho energético da solução base do caso de estudo.....	85
4.3.1 Recurso ao EnergyPlus.....	86
4.3.2 Comportamento energético da solução base	92
4.4 Implementação de medidas que permitem aumentar a eficiência energética.....	95
4.5 Balço energético das medidas implementadas	97
4.6 Discussão dos resultados	98
5. CONCLUSÕES.....	105
5.1 Considerações Finais.....	105
5.2 Desenvolvimentos Futuros.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS.....	113
ANEXO I	114
ANEXO II	116

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Evolução do nº de edifícios em Portugal 1991-2011	4
Figura 2.2 - Densidade populacional e densidade de alojamentos por município em 2011	6
Figura 2.3 - Nº de alojamentos por nº de habitante	6
Figura 2.4 - Alojamento por regime de ocupação	7
Figura 2.5 - Edifícios segundo a época de construção	9
Figura 2.6 - Alojamento por época de construção do edifício	10
Figura 2.7 - Edifício por tipo de reparação e por época de construção	10
Figura 2.8 - Edifício por necessidade de reparação por elemento	11
Figura 2.9 - Proporção de edifícios com necessidades de reabilitação em Portugal	11
Figura 2.10 - Edifícios por tipo de construção 2001-2010	13
Figura 2.11 - Custo médio de obras de reabilitação de acordo por grau de intervenção	18
Figura 2.12 - Tipo de parede e isolamento existente nas habitações das EcoFamílias	29
Figura 2.13 - Tipo de envidraçados existentes nas habitações das EcoFamílias	31
Figura 2.14 - Percentagem de presença dos vários tipos de lâmpadas nas EcoFamílias	33
Figura 2.15 - Distribuição das várias formas de energia para AQS, nas EcoFamílias.....	34
Figura 2.16 - Consumo doméstico de Água com utilização em exteriores.....	35
Figura 2.17 - Dependência energética na UE-27	37
Figura 2.18 - Consumo de energia per capita e consumo no sector doméstico per capita.....	37
Figura 2.19 - Distribuição das despesa com energia em alojamento em 2010	38
Figura 2.20 - Evolução certificação SCE em Portugal	41
Figura 2.21 - Análise do parque edificado consoante o certificado energético	41
Figura 2.22 - Classe energética real e classe energética com medidas implementadas	42
Figura 2.23 - Tipo de parede exterior por ano de construção das habitações	44
Figura 2.24 - Tipo de envidraçados por ano de construção das habitações	45
Figura 2.25 - Evolução das preocupações no sector da construção civil.....	49
Figura 2.26 - Impactes Ambientais no ciclo de actividades da construção	50
Figura 2.27 - Posicionamento do sol em Portugal em função da estação do ano	54
Figura 2.28 - Evolução das fachadas em Portugal.....	59

Figura 2.29- ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido	61
Figura 3.1 - Metodologia de intervenção.....	66
Figura 3.2 - Funcionamento do EnergyPlus	69
Figura 3.3 - Esquema geral do Energy Plus	70
Figura 3.4 - Parede de Água “See-Trough Wall”	74
Figura 4.1 - Planta Piso 3	80
Figura 4.2 - Planta Piso 4	81
Figura 4.3 - Revestimento de parede com sujidade	84
Figura 4.4 - Aparecimento de efluorescência	84
Figura 4.5 - Ausência de grelha de ventilação.....	84
Figura 4.6 - Etiqueta de desempenho energético do certificado energético da fracção em estudo	85
Figura 4.7 - Definição dos Schedules no EnergyPlus	88
Figura 4.8 - Definição de soluções construtivas no EnergyPlus.....	89
Figura 4.9 - Defenição da geometria dos elementos da envolvente no EnergyPlus	90
Figura 4.10 - Representação 3D da simulação efectuada pelo EnergyPlus - SW e SE	92
Figura 4.11 - Temperatura média mensal	93
Figura 4.12 - Ganhos internos por piso	93
Figura 4.13 - Necessidades Energéticas da Solução Base	94
Figura 4.14 - Comparação das necessidades energéticas do EnergyPlus e do RCCTE.....	95
Figura 4.15 - Comparação da solução base com a Parede de Água	99
Figura 4.16 - Comparação da Parede de Água de 20 cm nas Zonas Piso 3 e Piso 4	99

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Alojamentos arrendados, segundo o escalão da renda, por estado de conservação	8
Quadro 2.2 - Indicadores da Construção de Edifícios Concluídos em 2010, por NUTS III	8
Quadro 2.3 - Estimativas do nº de Fogos segundo a Tipologia em 2010, por NUTS III	9
Quadro 2.4- Comparação dos resultados do MAEC com os resultados do Censos de 2001.....	12
Quadro 2.5 - Resultados dos Programas SOLARH; RECRIA; REHABITA e RECRIPH	20
Quadro 2.6 - Comparação da repartição do consumo doméstico de electricidade	27
Quadro 2.7 - Valores óptimos das percentagens de envidraçados das fachadas	32
Quadro 2.8 - Medidas de intervenção no processo da construção sustentável	52
Quadro 3.1 - Nível de anomalia e respectivo valor atribuído (MAEC)	66
Quadro 3.2 - Critérios de avaliação do nível de anomalia	67
Quadro 3.3 - Escala de intervenção para classificação do índice de anomalias	68
Quadro 3.4 - Lista de Medidas possíveis de implementar.....	72
Quadro 3.5 - Ponderação dos indicadores e parâmetros utilizados na análise custo-benefício.....	75
Quadro 3.6 - Classificação do desempenho de cada medida consoante a Nota Sustentável	78
Quadro 4.1 - Contributo das medidas de melhoria estudadas para o aumento da eficiência energética	101

SIGLAS E SÍMBOLOS

ADENE - Agência para a Energia
AECOPS - Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas
APA - Agência Portuguesa de Ambiente
AQS - Águas Quentes Sanitárias
ARU - Áreas de Reabilitação Urbana
BCE - Banco Central Europeu
BEI - Banco Europeu de Investimento
BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CCOP- Construção Civil e Obras Públicas
CE - Comissão Europeia
CO₂ - Dióxido de Carbono
DGGE - Direcção Geral de Energia e Geologia
EPBD - Energy Performance of Buildings Directive
EPS - Poliestireno Expandido Moldado
ETICS - Sistemas de isolamento térmico pelo exterior
FDU - Fundos de Desenvolvimento Urbano
FMI - Fundo Monetário Internacional
IDF - Input Date File
IMI - Imposto Municipal sobre Imóveis
ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios
LEED - Leadership in Energy & Environmental Design
LiderA - Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção
NRAU - Novo Regime do Arrendamento Urbano
PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PVC - Policloreto de Vinilo
Rph - Renovações por hora
U - Coeficiente de transmissão térmica
U.S. - United States
UE - União Europeia
UM - Universidade do Minho
UNL - Universidade Nova de Lisboa
XPS - Poliestireno Extrudido

1.INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O parque edificado português apesar de recente apresenta um estado de conservação deficitário. Este défice é, essencialmente, justificado pelo elevado crescimento do número de habitações relativamente ao crescimento populacional, verificado ao longo das últimas décadas, o que se repercutiu num elevado número de habitações por habitante e no consequente aumento do abandono e degradação dos centros urbanos e de grande parte dos edifícios que os constituem. No entanto, ao contrário do que seria de esperar, o peso da reabilitação de edifícios relativamente à construção nova é, em Portugal, bastante baixo comparativamente com os valores da média da União Europeia. O facto de a construção nova ter sido feita previligiando apenas os factores financeiros e sem preocupações com a qualidade da construção, com a salvaguarda do património edificado e com o ordenamento das cidades tem levado a que tanto as cidades como os edifícios apresentem um estado de degradação física e estrutural acentuado e uma inadequação funcional aos actuais padrões de salubridade, conforto e segurança

Para que esta situação seja invertida torna-se evidente a obrigatoriedade de se proceder a uma reorientação estratégica no sector da habitação. A reabilitação urbana pode ser a resposta a essa reorientação contribuindo para a melhoria do estado de conservação dos edifícios e das cidades e, consequentemente, da qualidade de vida das populações.

Das principais anomalias que afectam o parque edificado português a ineficiência energética assume particular importância quer pelo reflexo que tem na qualidade de vida dos ocupantes quer pelos encargos financeiros que lhe estão associados.

O sector habitacional é, em resultado dos actuais padrões de conforto nas habitações, um dos um dos sectores que mais energia consome. O facto de grande parte do parque edificado português não garantir o conforto térmico desejado pelos ocupantes associado à elevada dependência energética do País e ao crescente aumento do preço da energia tornam esta situação insustentável. É, portanto, necessário que se adoptem estratégias que promovam a eficiência energética no sector habitacional. Para tal tem sido, e será fundamental o contributo da certificação energética dos edifícios.

A adopção de estratégias que promovam a eficiência energética implica que exista uma mudança de paradigma na construção de modo a que se minimizem os impactos dos edifícios, ao longo do seu ciclo de vida, tanto no meio social como no meio ambiental em que este se insere. Essa mudança de paradigma passa pela adopção dos processos constituintes da Construção Sustentável.

Os elementos da envolvente têm um papel bastante influente no desempenho energético dos edifícios, no entanto, estes são dos elementos com maiores necessidades de reparação nos edifícios do parque edificado. Neste contexto, para otimizar o comportamento energético dos edifícios existentes

é importante ponderar qual contributo que a envolvente exterior pode ter para que este objectivo seja atingido.

As soluções mais utilizadas em Portugal podem não ser as que garantem melhor desempenho energético e ambiental. É, portanto, importante que soluções construtivas que, pelos princípios da Construção Sustentável, tirem o máximo proveito das condições climatéricas onde os edifícios estão inseridos sejam avaliadas de forma a que se determine qual o contributo que estas soluções podem ter para que o consumo energético dos edifícios seja minimizado, protegendo o meio ambiente e, simultaneamente, promovendo o aumento das condições de conforto interior das habitações.

O tema da presente dissertação visa a identificação e análise dos contributos possíveis de implementar para que as problemáticas anteriormente referidas possam ser solucionadas.

1.2 Objectivo

Este trabalho aborda o estudo do património edificado existente com o objectivo de proceder à execução de uma metodologia que permita identificar as melhorias que, sendo introduzidas nos edifícios, possam promover o aumento do nível de eficiência energética.

A validação das melhorias propostas será feita com base numa análise custo-benefício com vista a determinar a sua efectiva melhoria em termos globais.

O recurso à avaliação do balanço energético das medidas propostas e à sua correlação com a análise custo-benefício, funcionará como veículo de auxílio ao processo de tomada de decisão sobre o potencial efectivo das medidas estudadas para que o objectivo proposto seja atingido.

1.3 Estrutura do trabalho

A metodologia implementada para o desenvolvimento desta dissertação levou a que se optasse por dividir o trabalho em cinco capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma abordagem introdutória do presente trabalho, definem-se os seus objectivos e estrutura.

No segundo capítulo é feita uma análise do parque edificado português, das suas principais anomalias e da importância da implementação da reabilitação urbana. Neste capítulo é ainda feita uma abordagem ao panorama da certificação energética em Portugal, à construção sustentável como meio para melhorar a actual situação do consumo de recursos naturais e às soluções construtivas de paredes mais comuns em Portugal.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia proposta para atingir o objectivo do trabalho, enquadrando a optimização do seu desempenho energético com o processo de reabilitação sustentável de edifícios.

No quarto capítulo é apresentado o caso de estudo e procede-se à implementação da metodologia apresentada no terceiro capítulo ao caso de estudo. Ainda neste capítulo é feita a discussão dos resultados obtidos relativamente ao desempenho energético do caso de estudo e ao desempenho energético associado à implementação de cada medida proposta.

No quinto capítulo são feitas as considerações finais do trabalho e são abordados os desenvolvimentos futuros.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Parque edificado Português

A caracterização do parque edificado é importante para se ter a noção da articulação da distribuição do património edificado e do seu acompanhamento em termos demográficos, assim como da sua tipologia de utilização e estado de conservação. Desta forma é possível identificar as principais lacunas do parque edificado para que se criem as estratégias adequadas ao seu melhoramento. A análise da proporção das obras de construção nova com as obras de reabilitação de edifícios permite avaliar qual o rumo que tem sido seguido pelo sector da construção.

2.1.1 Distribuição dos Alojamentos

Em 2011 existiam em Portugal 3543595 edifícios residenciais e 5877991 alojamentos. Como é representado na Figura 2.1, dos edifícios residenciais existentes 34,1% localizam-se na região Norte, 31,4% na região Centro e 12,6% na região de Lisboa. As restantes regiões representam cerca de 21,9% dos edifícios existentes no País. Nos últimos 10 anos o crescimento do número de edifícios e de alojamentos em Portugal foi de 12,1% e 16,3%, respectivamente. [1]

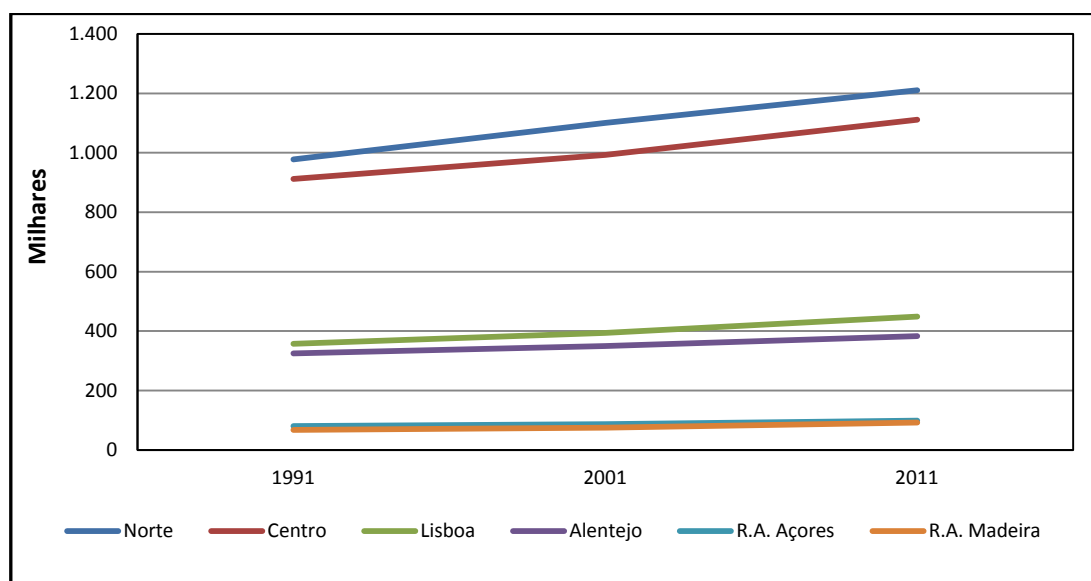


Figura 2.1 – Evolução do nº de edifícios em Portugal 1991-2011 [1]

Analisando a densidade de população e a densidade de alojamentos ao longo do território nacional, é possível estabelecer uma relação de dependência entre ambos. Existem exceções neste comportamento, como é o caso do Algarve, onde devido ao uso sazonal das habitações (habitações secundárias) se verifica uma forte disparidade do número de alojamentos existentes, relativamente ao número de população residente. [1]

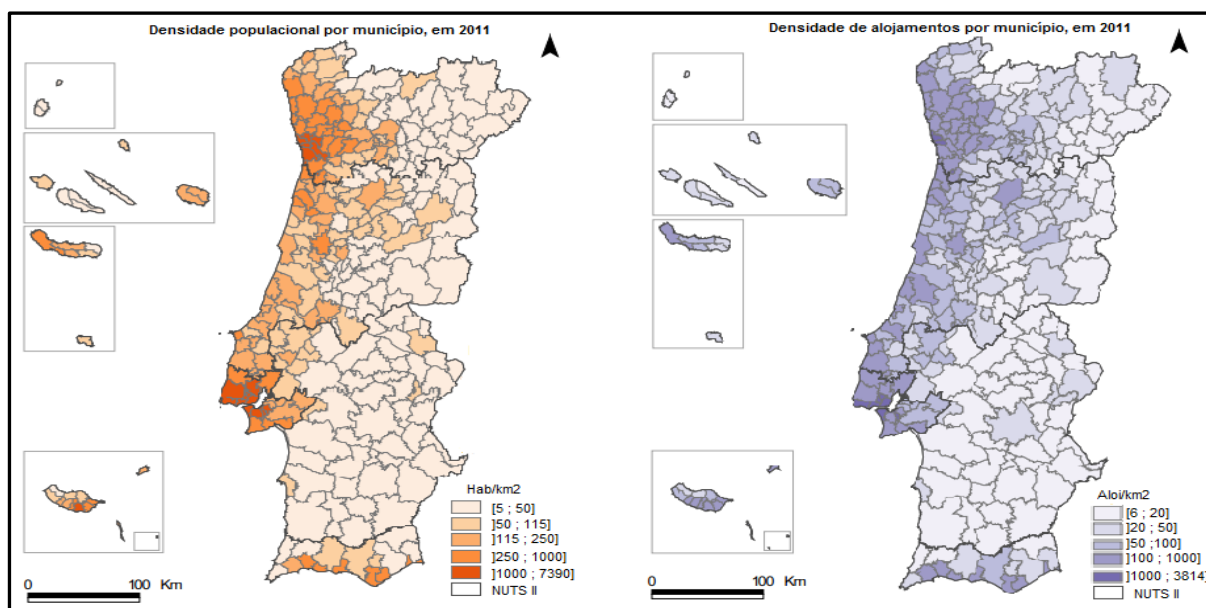


Figura 2.2 – Densidade populacional e densidade de alojamentos por município em 2011 [1]

Apesar da dependência entre a densidade de alojamentos e a densidade populacional, o número de habitantes por alojamento têm vindo a decrescer acentuadamente ao longo das últimas décadas. A principal causa deste fenómeno tem sido a grande disparidade da taxa de construção de alojamentos com a taxa da população residente. [1]

De 2001 para 2011 verificou-se um agravamento do desajustamento entre o crescimento do número de alojamentos para habitação e o crescimento da população residente, com uma variação positiva de 16,3 e 2%, respectivamente. Em resultado deste fenómeno o número médio de habitantes por alojamento diminuiu 8,4%, de 2,05 para 1,8. Este comportamento é mais acentuado na região do Algarve, onde a razão do número de habitante por alojamento é de 1,2. [1]

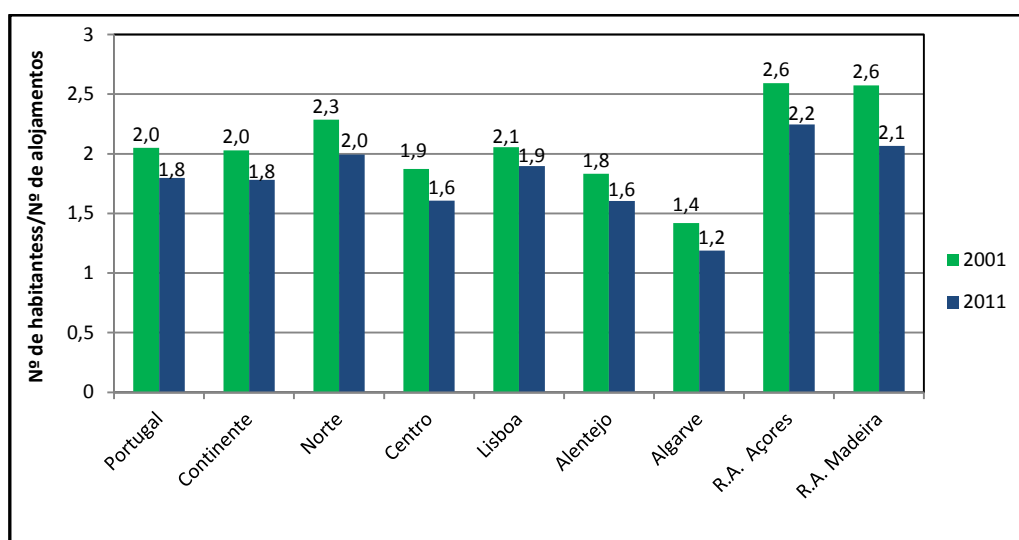


Figura 2.3 – Nº de habitantes por nº de alojamentos [1]

O elevado crescimento do número de alojamentos em Portugal deveu-se essencialmente ao facilitismo do acesso ao crédito à habitação (devido a juros mais baixos desde 1991) e à inexistência de um mercado de arrendamento dinâmico em Portugal. Este crescimento excessivo repercute-se em inúmeras consequências negativas para os tecidos urbanos como o despovoamento dos centros históricos, o défice no funcionamento dos serviços e prejuízos para a economia locais, a excessiva expansão das malhas urbanas (aumentando o tráfego diário da periferia para os centros da cidade), a despreocupação com o património edificado existente, entre outras. [2][3]

2.1.2 Regime de ocupação

Em 2011 a ocupação como residência habitual representava 68,2% do total de alojamentos clássicos, 19,3% estavam destinados a uso sazonal ou secundário e 12,5% vagos. [1]

Em 2001, do total de habitações com ocupação como residência habitual 76% estavam ocupadas pelo proprietário, enquanto 21% estavam sob o regime de arrendamento.

Na figura 2.4 é visível a grande discrepância que existia, em 2001, entre a percentagem de alojamentos ocupados pelo proprietário e sob o regime de arrendamento, em Portugal e na média da UE. Este desajustamento demonstra que o investimento estatal no sector da habitação se tem centrado no apoio à aquisição de habitação própria em detrimento de incentivos ao arrendamento. [3]

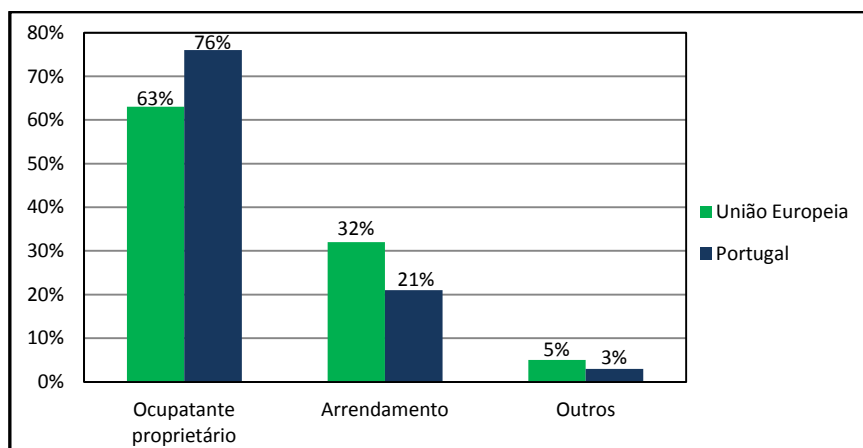


Figura 2.4 – Alojamento por regime de ocupação [3]

Em 2001 o escalão de renda mensal média por alojamento em Portugal era bastante baixo. Cerca de 60% das rendas eram inferiores a 100€. Do total de alojamentos arrendados 56% tinha necessidades de reparação. Entre estes é possível observar uma forte relação entre a natureza das obras que são necessárias e o escalão de renda (Quadro 2.1), o que é explicativo do mau estado de conservação de grande parte dos alojamentos sob regime arrendatário. Este problema deveu-se, sobretudo, à falta de actualização das rendas, o que impossibilitou que grande parte dos senhorios tivessem capacidade financeira para fazer obras de reparação. [3]

Quadro 2.1 - Alojamentos arrendados, segundo o escalão da renda, por estado de conservação [3]

Escalão de renda	Menos de 34,91€	De 34.92€ a 99.75 €	De 99.76€ a 199.51€	De 199.52€ a 399.03€	Mais de 399.04€	Total
Sem necessidade de reparação	30%	42%	51%	62%	66%	44%
Com necessidade de pequenas reparações	32%	33%	29%	25%	23%	30%
Com necessidade de reparações médias	21%	16%	13%	9%	7%	15%
Com necessidade de grandes reparações	11%	7%	5%	3%	2%	7%
Muito degradado	6%	3%	2%	1%	1%	4%

2.1.3 Tipologia de habitações

Em 2010 a grande maioria de fogos concluídos foram em edifícios de apartamentos. Esta tendência acentua-se no Algarve, Lisboa e Madeira, onde a percentagem de fogos concluídos em edifícios de apartamentos relativamente ao total de fogos concluídos em moradias é de 80,2%, 69,35 e 67,5%, respectivamente. Ao invés, no Alentejo e nos Açores predominam os fogos concluídos em moradias, representando respectivamente 59,5% e 58,2 relativamente ao total de fogos concluídos em edifícios. [2]

Analisando algumas características do parque edificado, patentes no Quadro 2.2, é possível concluir que existe um contraste na tendência de construção em altura entre os edifícios situados na região de Lisboa e Algarve, (onde o nº médio de pisos por edifício é aproximadamente 3) e os edifícios situados no Alentejo e Açores (onde o número médio de pisos é aproximadamente 1,8). No que refere à superfície média das divisões e ao número de divisões por fogo a zona da Madeira é a que apresenta piores resultados, pois é onde os fogos, em média, apresentam menor número de divisões e menor área de superfície. Ao invés, a zona Centro é a zona onde estes indicadores são mais elevados.[1]

Quadro 2.2 - Indicadores da Construção de Edifícios Concluídos em 2010, por NUTS III [2]

Regiões	Nº de fogos por Edifícios	Nº médio de Pisos por Edifício	Superfície média das divisões (m2)	Nº de divisões por fogo
Portugal	2,2	2,4	20,0	4,9
Norte	1,9	2,4	20,2	5,0
Centro	1,9	2,3	20,7	5,0
Lisboa	3,0	3,0	20,7	4,9
Alentejo	1,6	1,8	19,1	5,0
Algarve	3,9	2,8	18,2	4,2
Reg. Aut. Açores	1,6	1,8	18,2	4,7
Reg. Aut. Madeira	3,0	2,5	16,2	4,3

Analisando a tipologia dos fogos do parque edificado português, patente no Quadro 2.3, conclui-se que predominam os fogos com tipologia T3, com excepção de Lisboa, Algarve e Madeira onde a tipologia predominante é a tipologia T2.[1]

Quadro 2.3 - Estimativas do nº de Fogos segundo a Tipologia em 2010, por NUTS III [2]

	Total	T0	T1	T2	T3	T4	T5+
Portugal	5750755	75123	394185	1365111	1528411	535405	374602
Norte	1864484	26213	124986	410172	552253	187687	133504
Centro	1413869	11526	55509	249509	389853	163784	118183
Lisboa	1423654	19178	127823	454085	347770	96233	61607
Alentejo	466004	7086	33034	106278	113518	40924	28546
Algarve	352670	6814	30974	83107	68702	19769	10053
Reg. Aut. Açores	107242	1574	7906	20003	24639	14490	23027
Reg. Aut. Madeira	122832	2732	14060	31957	31694	10518	7882

2.1.4 Idade do parque edificado

O forte crescimento do parque edificado, principalmente após a década de 70, justifica o seu baixo índice de envelhecimento. Em 2011 cerca de 61% do total de edifícios que constituíam o parque edificado, foram construídos após a década de 70, enquanto a percentagem de edifícios construídos antes de 1919 era de cerca de 6% (Figura 2.5). Apesar da sua idade relativamente jovem, este apresenta grandes necessidades de reparação. De acordo com os resultados do Censos de 2001 o parque edificado português tinha em média 34 anos, o que faz dele um dos mais recentes da UE. O índice de envelhecimento dos edifícios era, em 2011, de 1,9 o que significa que o número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro daqueles que foram construídos após 2001. Este índice é mais baixo nas zonas litorais do que nas zonas interiores do País, à excepção das regiões de Lisboa, Porto e Coimbra. [1][4][5]

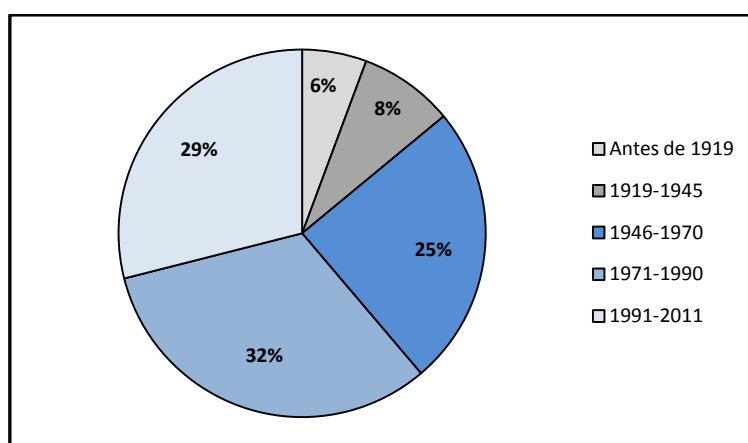


Figura 2.5 – Edifícios segundo a época de construção [5]

Analisando a percentagem de alojamentos por época de construção em Portugal e na UE, conclui-se que em todas as épocas até aos anos 80, a percentagem de alojamentos construídos em Portugal foi

sempre inferior à média da UE. A percentagem de alojamentos construídos de 1981 até 2001 no total de alojamentos existentes era de 44% em Portugal contra 23% da UE, em 2001 (Figura 2.6). [3]

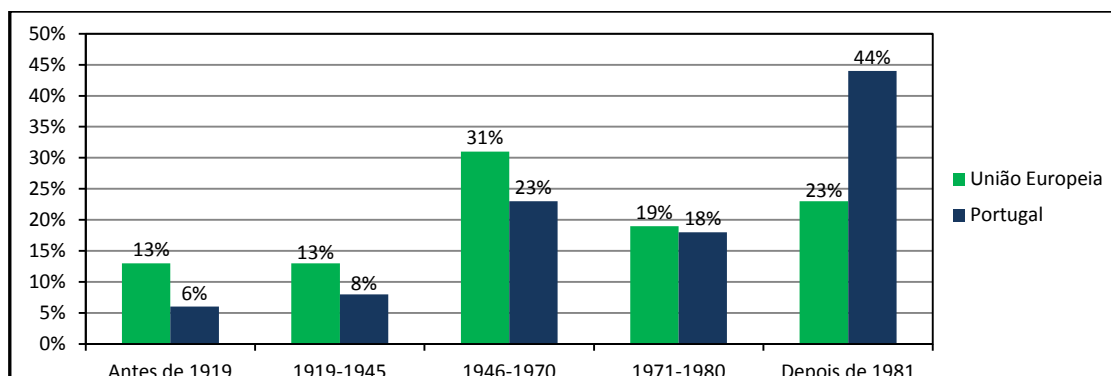


Figura 2.6 – Alojamento por época de construção do edifício [3]

2.1.5 Estado de conservação do parque edificado

Apesar do índice de envelhecimento do parque edificado português ser relativamente baixo, este apresenta sinais evidentes da sua degradação. Em 2001 estimava-se que 40,9% dos edifícios em Portugal tivessem necessidades de reparação. Quanto ao nível de reparação necessária, a maior parcela respeitava a pequenas reparações, cerca de 54,7%, sendo que as reparações médias, grandes e os edifícios que estão num estado muito degradado respeitavam a 25,5, 12,6 e 7,2%, respectivamente. As necessidades de reparação são, geralmente, proporcionais à idade do edifício. Esta diferença é bastante notória em reparações médias e em grandes reparações, sendo que nestas as necessidades de reparação de um edifício construído após 1970 podem ser cinco vezes menores que as necessidades de reparação de um edifício construído antes de 1970 (Figura 2.7). [5]

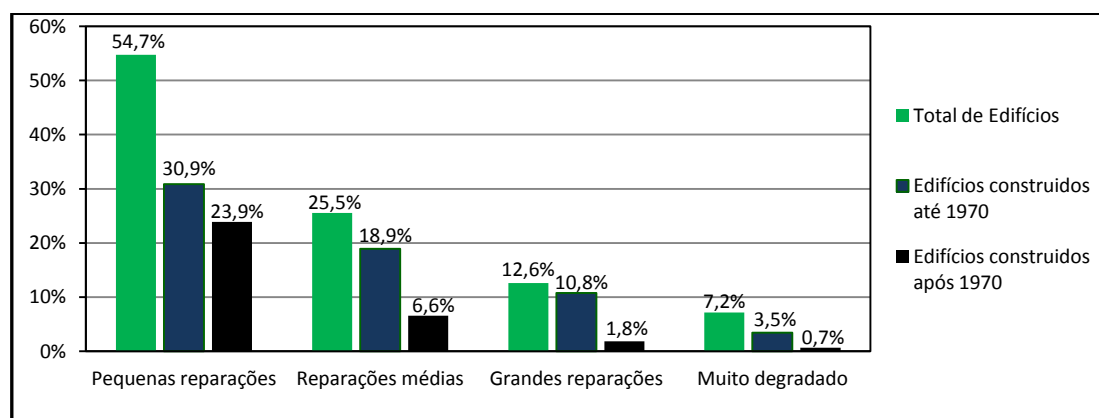


Figura 2.7 – Edifício por tipo de reparação e por época de construção [5]

Quanto aos tipos de elementos com maiores necessidades de reparação, 45% dos edifícios necessitavam de reparação na cobertura, 40% na estrutura e 47% em paredes e caixilharia (Figura 2.8). [5]

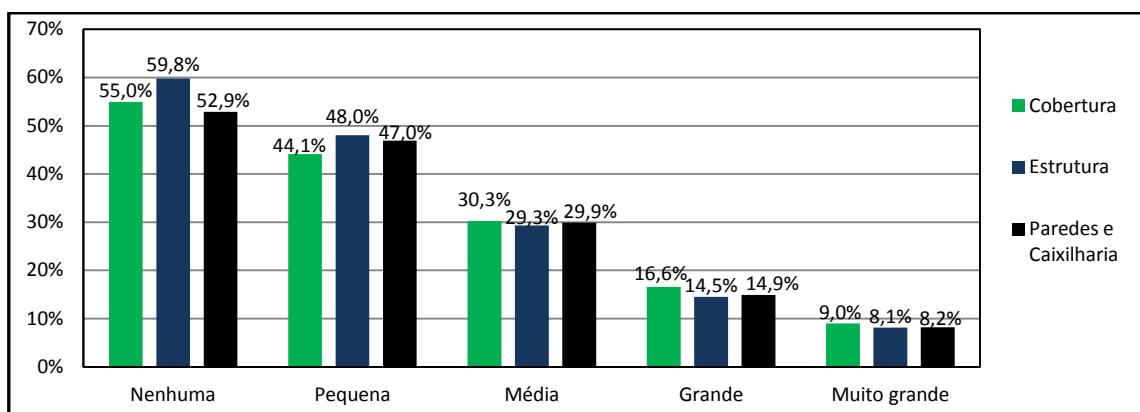


Figura 2.8 – Edifício por necessidade de reparação por elemento [5]

As regiões onde foram identificadas maiores necessidades de reabilitação são o Interior Norte, a Serra da Estrela e as Áreas Metropolitanas de Lisboa e do Porto. No sentido oposto, a zona do País com menor necessidade de reabilitação é o Alentejo. Os dados divulgados pelo Censos de 2001 indicam que o número de edifícios com necessidades de reabilitação rondava um 1.200.000 e que cerca de 92.300 edifícios se encontravam num estado muito degradado, o que se traduz numa proporção de 38% e 2,9%, respectivamente, do total de edifícios do parque habitacional. [2][6].

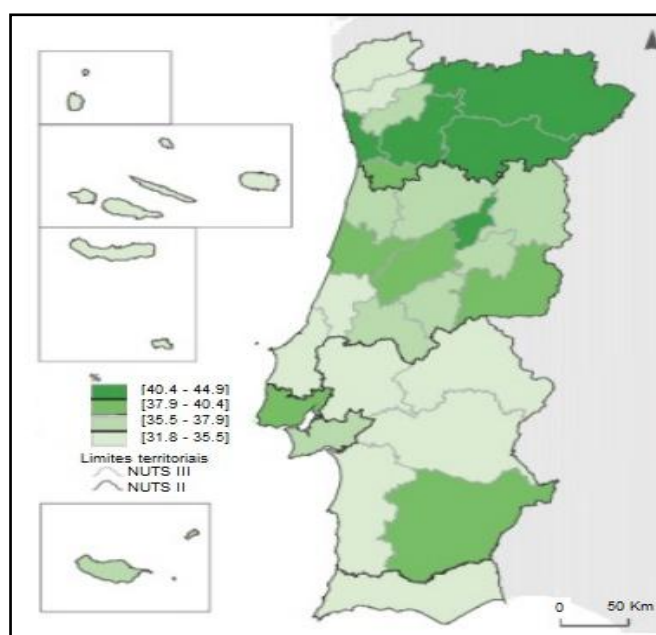


Figura 2.9 – Proporção de edifícios com necessidades de reabilitação em Portugal [6]

2.1.5.1 Método de avaliação do estado de conservação de edifícios

A metodologia de avaliação do estado de conservação dos edifícios, *MAEC*, foi desenvolvida no LNEC com o objectivo de avaliar o estado de conservação do edificado no âmbito das solicitações de aumento de renda extraordinária previsto pelo NRAU. Este parâmetro é avaliado relativamente às

condições que o edifício proporcionava quando foi construído ou quando sofreu a última intervenção profunda, e não face às actuais exigências. [7][8]

Para além do seu principal objectivo, o *MAEC* permite avaliar a necessidade de realizar intervenções de manutenção/reparação e avaliar o valor do imóvel em transacções imobiliárias. Este método baseia-se na análise visual como forma de identificar as anomalias que afectam cada elemento funcional da construção. [7]

Até ao final de Agosto de 2010 foram feitas 8.034 vistorias, que permitiram calcular o estado de conservação dos edifícios do referido universo. Registaram-se algumas diferenças quando se compararam os valores do estado de conservação do património edificado, obtidos pelo MAEC e pelo Censos de 2001 (Quadro 2.4). As diferenças mais visíveis do estado de conservação verificam-se principalmente nas categorias extremas, correspondendo o nível de conservação 1 ao estado Péssimo e o nível de conservação 5 ao estado Excelente. [9]

Estas diferenças podem ser devidas à metodologia seguida pelo Censos ter por base apenas a observação dos elementos exteriores do edifício, enquanto o MAEC tem por base a vistoria detalhada dos diferentes elementos funcionais, ou por o universo da análise ser diferente em termos quantitativos nos dois métodos.[9]

Quadro 2.4 - Comparação dos resultados do MAEC com os resultados do Censos de 2001 [9]

MAEC		Censos 2001	
Nível de conservação	Edifícios (%)	Edifícios (%)	Necessidades de reparação
5	12,2	59,1	Sem necessidades de reparação
4	49,7	22,4	Pequenas necessidades de reparação
3	24,8	10,4	Reparações médias
2	13,3	5,2	Grandes reparações
1	0,1	2,9	Muito degradado

2.1.6 Carências qualitativas e quantitativas do parque habitacional

Analisando os dados censitários relativos a carências habitacionais, é possível contabilizar 176.811 alojamentos com carências habitacionais quantitativas. Atendendo a que o número de alojamentos vagos, disponíveis no mercado é 185.509 alojamentos conclui-se que não existem carências habitacionais ao nível quantitativo em Portugal. Relativamente a carências qualitativas (alojamentos sobrelotados, alojamentos em edifícios muito degradados, ou alojamentos sem uma das quatro infra-estruturas básicas) contabilizam-se 1.009.000 alojamentos. [10]

Pode-se, portanto, concluir que o parque habitacional não têm necessidade de mais alojamentos, mas que, acima de tudo, se devem preservar e requalificar os alojamentos existentes, de modo a garantir que os níveis de conforto definidos como aceitáveis são atingidos.

2.1.7 Tipo de obras

Desde 1995 a evolução da construção nova foi geralmente crescente até 2002, apartir desse ano houve uma quebra de obras de construção nova até valores próximos de metade daqueles que se verificavam em 2002. As obras de reabilitação de edifícios têm vindo a sofrer uma quebra desde 1995 até aos dias de hoje, no entanto, este tipo de obras tem vindo a ganhar relevância no mercado da construção, relativamente às obras de construção nova (Figura 2.10). [2]

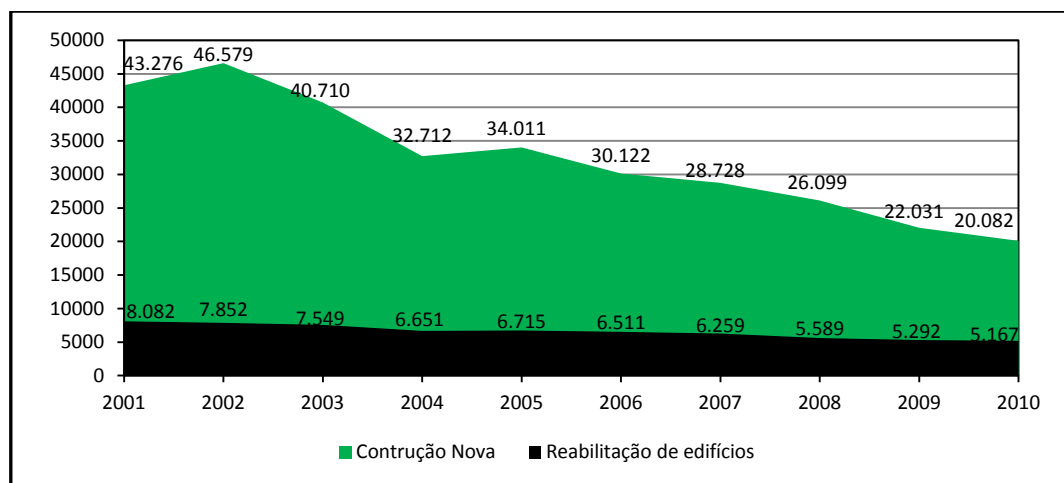


Figura 2.10 – Edifícios por tipo de construção 2001-2010 [2]

Apesar de ter havido um aumento de 7% em obras de reabilitação em detrimento de obras de construção nova, o volume de obras de reabilitação no total de obras concluídas em Portugal continua aquém dos valores da média Europeia que são de 36%. [2]

A análise feita aos principais elementos caracterizadores do parque edificado português permitiu concluir que:

- O crescimento do número de habitações desproporcionado com o crescimento da população, ao longo das últimas décadas foi o principal responsável pelo excessivo número de alojamentos por habitante;
- A densidade de população nos centros urbanos foi acompanhada de grande pressão construtiva;
- O valor das rendas mensais no mercado nacional é baixo e está directamente relacionado com o mau estado de conservação dos edifícios;
- O excessivo crescimento do parque habitacional faz com que este seja relativamente novo, no entanto o seu estado de conservação é preocupante;

- Os elementos com maiores necessidades de reparação são as coberturas, a estrutura, as paredes e as caixilharias;
- As carências quantitativas não são relevantes no entanto as carências qualitativas dos alojamentos são preocupantes;
- O peso da reabilitação de edifícios relativamente à construção nova é bastante inferiores à média da UE.

Tendo em conta os factos acima referidos, seria de esperar que o peso da reabilitação de edifícios relativamente à construção nova, fosse bastante superior ao que se têm verificado nas últimas décadas. Deste modo conclui-se que é importante proceder a uma reorientação estratégica no sector da habitação, de modo a que políticas associadas apenas à promoção da construção nova sejam substituídas por políticas com preocupações claras de salvaguarda do património existente e da qualidade de vida da população.

2.2 Reabilitação urbana

2.2.1 Enquadramento

Os centros urbanos são uma das zonas onde a degradação do património edificado é mais evidente. Estima-se que 40% da população portuguesa viva em cidades, no entanto a concentração urbana fez-se num quadro de expansão dos subúrbios (cerca de quatro milhões de habitantes vivem na área metropolitana de Porto e Lisboa) e desordenamento do território, com consequências bastante nefastas para os centros urbanos. [4]

Os principais problemas dos centros urbanos são: [3][11]

- A desertificação e envelhecimento de centros históricos;
- A elevada proporção de edifícios com necessidades de reabilitação;
- A preferência dos particulares em investir em obras de construção nova em vez de investirem em obras de reabilitação de edifícios;
- A fraca oferta do mercado de arrendamento (resultante do congelamento de rendas durante décadas);
- Proprietários sem capacidade nem iniciativa de investimento na conservação dos imóveis;
- Desadequação da organização das cidades ao estilo de vida actual;
- A existência de problemas de funcionamento e anomalias precoces em edifícios recentes;
- O crescimento abrupto de subúrbios nas áreas metropolitanas, onde se geraram zonas simbólica e fisicamente desqualificadas.

Para que estes problemas possam ser solucionados é imperativo que as políticas para o sector da habitação nas cidades sigam uma reorientação estratégica centrada na reabilitação urbana.

A reabilitação urbana é uma forma de intervenção integrada sobre o tecido urbano existente, na qual o património urbanístico e sociocultural é mantido, no todo ou em parte substancial, e modernizado através da realização de obras nos sistemas de infra-estruturas urbanas, equipamentos, espaços verdes de utilização colectiva e de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação ou demolição dos edifícios tendo em vista a sua sustentabilidade futura. [12][13][14]

O desenvolvimento económico, social e ambiental dos países está cada vez mais dependente do nível de competitividade das suas cidades. Por esse motivo a reabilitação urbana tem sido apontada pelos mais importantes sectores da sociedade como a solução para os problemas acima citados, assim como para a recuperação do sector da CCOP e da Economia, tendo em conta o actual momento de crise que se vive em Portugal e na Europa. [3][15]

Os princípios subjacentes à reabilitação urbana incluem razões de diferentes âmbitos, dos quais se podem destacar: [3]

- Económicos – Valorização do património imóvel e da economia local;
- Culturais - Prevenção do património cultural;
- Social – Princípio da justiça social e da partilha por todos das mais-valias geradas;
- Democrático - Princípio da descentralização e da participação da população em todas as fases do processo;
- Ambiental – Preocupação com a qualidade do ambiente urbano e dos espaços públicos.

Tal como os princípios que lhe estão subjacentes também os objectivos da reabilitação urbana são de vários âmbitos (culturais, urbanísticos, sociais, económicos funcionais e ambientais). Destacam-se como principais objectivos da reabilitação urbana: [3][15]

- A valorização de edifícios enquanto Património e enquanto capital imóvel segundo o princípio da intervenção mínima;
- Promover a consciencialização de identidade da cidade;
- Promover a coesão social e territorial;
- Aumento da qualidade turística e da segurança nos centros históricos;
- Dinamizar os serviços e economia local e nacional;
- Obtenção de benefícios ambientais (através da minimização da ocupação extensiva do território e da diminuição do consumo desnecessário de recursos não renováveis);
- Reduzir o risco sísmico e de incêndio;
- Reduzir o tráfego viário e promover o transporte público;

- Regenerar os bairros;
- Regenerar os equipamentos e espaços urbanos.

Um dos recursos mais importantes dos centros urbanos são os edifícios que os constituem, pelo seu valor histórico, patrimonial, artístico, económico e de uso. No entanto, em Portugal a necessidade de reabilitação dos edifícios existentes é, como foi referido no capítulo anterior, bastante elevada. Para que esta situação seja invertida e porque a reabilitação urbana de uma dada área é indissociável da reabilitação dos edifícios que a constituem é necessário que as estratégias a adoptar para o sector da habitação passem pela reabilitação de edifícios.

A reabilitação de edifícios é, segundo Fernando Henriques, o conjunto de operações destinadas a aumentar os níveis de qualidade dum edifício, por forma a atingir a conformidade com exigências funcionais mais severas do que aquelas para as quais o edifício foi concebido, ou simplesmente, torná-lo utilizável de acordo com os padrões actuais. [16]

A abordagem de intervenção em edifícios existentes é determinada pelo estudo das características físicas e sociais do edifício ou da área urbana a intervir. Deste modo as opções de intervenção física na reabilitação são condicionadas pelos seguintes factores: [3]

- Observância dos principais objectivos;
- Possibilidade do edifício estar inserido numa área abrangida por um grau de protecção (o que poderá implicar, por exemplo, a conservação integral do edifício, ou por oposição a possibilidade deste ser profundamente alterado);
- Possibilidade do edifício estar classificado como elemento patrimonial a salvaguardar e proteger;
- Tipologia arquitectónica e construtiva do edifício e a sua relação com os períodos históricos presentes;
- Avaliação das anomalias nos elementos funcionais (consequência da anomalia na satisfação das exigências funcionais e tipo e extensão do trabalho necessário para a correcção da anomalia);
- Escala de intervenção;
- Avaliação das necessidades de optimização do comportamento do edifício;
- Lógica de modificação do edifício ao longo dos tempos.

Ao nível operativo e técnico é fundamental que em obras de reabilitação de edifícios sejam respeitadas um conjunto de boas práticas de intervenção. Deste modo referem-se algumas práticas que contribuem para uma intervenção correcta na reabilitação de edifícios: [3][16]

- Qualquer intervenção deve respeitar as características tipológicas, morfológicas e culturais do local onde o edifício está implantado promovendo a autenticidade do espaço envolvente;
- Todas as intervenções devem assegurar as condições básicas de higiene, saúde e segurança proporcionando a adequada qualidade para o uso actual do edifício como habitação;
- Quanto maior for o grau de profundidade da intervenção maior deve ser o grau de conformidade com as exigências actualmente impostas nos regulamentos de construção, assim como o grau de satisfação dos padrões qualitativos;
- As soluções de reparação e de beneficiação devem ser adequadas às características da construção e dos materiais existentes, garantindo a sua compatibilidade físico-química e mecânica;
- Deve-se promover, sempre que possível, o aproveitamento de elementos e partes de construções antigas, em detrimento da substituição destes elementos por materiais e soluções técnicas modernas, promovendo deste modo a autenticidade dos materiais e dos processos construtivos;
- Deve ser mantida a integridade física das evidências de carácter histórico, evitando que estas sejam removidas ou alteradas;
- Deve ser garantido o princípio da reversibilidade;
- Devem-se utilizar materiais e técnicas de reparação com qualidade comprovada pela longa experiência da sua aplicação em obra;
- Todas as intervenções de análise devem ser documentadas;
- Deve ser criado um plano de manutenção.

Em edifícios com valor cultural, histórico e/ou arquitectónico é igualmente importante que estes sejam salvaguardados para as gerações vindouras. [3]

Um aspecto fundamental na discussão da viabilidade da reabilitação de edifícios relativamente à construção nova é o factor económico. Valores como o turismo, a sustentabilidade ambiental, a coesão social, a cultura ou o ordenamento do território são bastante difíceis de quantificar, no entanto existem vantagens económicas na reabilitação de edifícios, relativamente à construção nova que são bastante evidentes, das quais se destacam: [17]

- Redução de custos com demolições;
- Redução de custos com licenças;
- Incentivos financeiros;
- Redução dos custos de estaleiro;

- Reutilização de materiais de construção.

Em Portugal os únicos dados que permitem uma comparação dos valores dos custos finais de reabilitação de edifícios relativamente aos custos finais de construção nova são referentes a reabilitações efectuadas pelos municípios e subsidiadas pelo programa RECRIA. A partir destes dados, é possível verificar na Figura 2.11, que o custo médio por m² de intervenções de reabilitação ligeira, média e profunda é inferior em 8, 15 e 80%, respectivamente, ao custo resultante da substituição do edifício por construção nova. Por outro lado é possível verificar que somente em reabilitações excepcionais, em que o interior dos edifícios foi integralmente reconstruído, o valor do custo por m² é superior ao valor obtido da substituição do edifício por construção nova. Salienta-se ainda a diferença de custo da reconstrução de interiores em estrutura tradicional de madeira, estrutura mista ou em betão visto representarem um acréscimo de custo por m² de 10, 30 e 35%, respectivamente, relativamente ao custo da substituição do edifício por uma construção nova. [3]

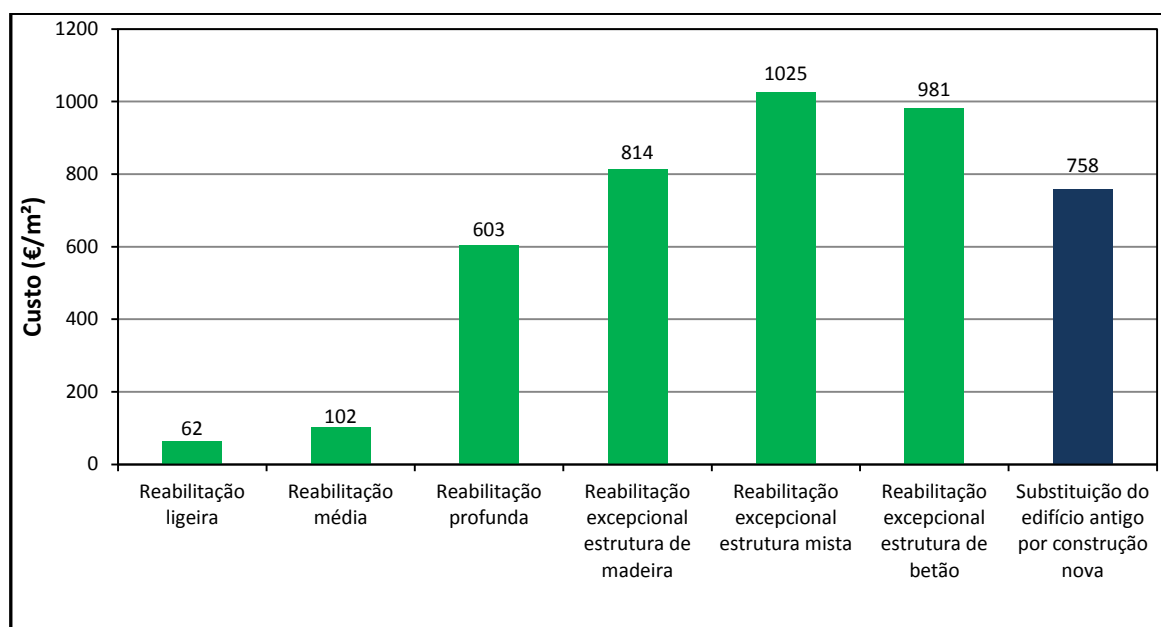


Figura 2.11 – Custo médio de obras de reabilitação de acordo por grau de intervenção [3]

As obras de reabilitação de edifícios têm características específicas relativamente às obras de construção nova. Na reabilitação de edifícios, as obras têm geralmente de se subordinar a condicionamentos específicos, o que por vezes gera os seguintes problemas: [3] [13]

- Dificuldade de montagem de estaleiro;
- Dificuldade de realojamento temporário de residentes ou de compatibilização com a permanência dos moradores no edifício a reabilitar;
- Incerteza da orçamentação devidos a imprevistos que podem ocorrer durante a obra (p. ex: detecção de vestígios arqueológicos, detecção de patologias durante a execução da obra);

- Dificuldade de acesso às obras;
- Incompreensão de que a reabilitação é forma de manter a identidade e cultura do país;
- Mão-de-obra pouco especializada;
- Recurso a tecnologias e materiais sofisticados e mais dispendiosos.

Segundo o estudo "O Mercado da Reabilitação", realizado pela AECOPS, o mercado potencial da reabilitação de edifícios em Portugal é da ordem dos 150 mil milhões de euros. No entanto, para que este mercado possa ser concretizado é necessário que sejam articuladas, de um modo adequado, políticas de preservação do património cultural, da habitação, do ordenamento do território e do ambiente, assim como é fundamental que estejam reunidos um conjunto de instrumentos operativos de ordem política, humana, legal e financeira de incentivo à reabilitação urbana.

2.2.2 Programas de reabilitação

A reabilitação urbana é, com foi referido, a melhor solução para a recuperação do património degradado, aumento de qualidade de vida nos centros urbanos e para a recuperação do sector da CCOP. Para que as políticas de reabilitação urbana pudessem ser concretizadas, foram criados vários programas de incentivo à reabilitação, a nível nacional (administração central e local) e comunitário.

Os principais programas nacionais de apoio à reabilitação urbana são: [18]

RECRIA

O regime especial de comparticipação na recuperação de imóveis arrendados visa apoiar financeiramente a execução de obras de conservação e de beneficiação de fogos e imóveis arrendados em estado de degradação, mediante a concessão de incentivos pelo Estado e pelos municípios.

RECRIPH

O regime especial de comparticipação e financiamento na recuperação de prédios urbanos em regime de propriedade horizontal tem como objectivo apoiar financeiramente a execução de obras de conservação e de beneficiação nas partes comuns de edifícios antigos constituídos em regime de propriedade horizontal.

REHABITA

O regime de apoio à recuperação habitacional em áreas urbanas antigas tem como objectivo apoiar financeiramente as autarquias na reabilitação das zonas urbanas antigas, declaradas como áreas críticas de recuperação e reconversão urbanística, e que possuam planos de pormenor ou regulamentos urbanísticos aprovados.

SOLARH

O programa SOLARH visa estimular a reabilitação do parque habitacional detido por estratos habitacionais com menores rendimento em habitação própria permanente, ou em habitações devolutas, mediante a concessão de empréstimos sem juros pelo IHRU.

Em 2008 os programas RECRIA e SOLARH, foram os que registaram maior procura com 90% das candidaturas contratadas. Relativamente ao número de fogos intervencionados estes programas representaram 82% dos fogos intervencionados, e quase 90% do financiamento anual para obras de reabilitação apoiadas pelos 4 programas de reabilitação do IHRU (Quadro 2.5). [19]

Quadro 2.5 – Resultados dos Programas SOLARH; RECRIA; REHABITA e RECRIPH [19]

Programa	Candidaturas Contratadas	Nº de fogos intervencionados	Financiamento contratado	% Financiamento do programa	Total de financiamento do IHRU
SOLARH	131	150	1492572	31,3	4809385
RECRIA	92	341	8518408	57,85	4809385
REHABITA	12	28	1563542	9,4	4809385
RECRIPH	10	75	540293	1,55	4809385

Analisando os quatro programas, conclui-se que os programas SOLARH e RECRIA são os que têm maior impacto na reabilitação do edificado. Estes programas foram, ao longo dos últimos anos, os principais apoios à reabilitação urbana, no entanto, não se revelaram suficientes para solucionar as necessidades de reabilitação de edifícios, anteriormente constatadas.

Para que no futuro este tipo de programas se possa revelar mais eficiente, isto é, inverter o avançado estado de degradação do património edificado é necessário que sejam simplificados os aspectos de natureza jurídica/legal, técnica e de informação/divulgação. [19]

Na sequência da aplicação do memorando de entendimento entre o Governo Português, o FMI, o BCE e CE, os procedimentos administrativos em matéria de reabilitação sofreram modificações. As alterações concebidas são destinadas a simplificar os procedimentos para obras de reabilitação, simplificar as regras para o realojamento de inquilinos de um edifício sujeito a obras de reabilitação, conceder aos senhorios a possibilidade de pôr termo a um contrato de arrendamento devido a obras de renovação significativas, normalizar as regras que determinam o estado de conservação do imóvel e as condições para a demolição de edifícios em ruínas. [20]

Novo Regime do Arrendamento Urbano

O Novo Regime do Arrendamento Urbano (NRAU) tem como objectivo a actualização extraordinária do valor das rendas urbanas, contribuindo deste modo para que o mercado de arrendamento ofereça uma alternativa viável à compra de habitação própria. A actualização do valor

das rendas permitirá também que se criem condições para que os proprietários consigam obter capital para fazer reparações nos edifícios, melhorando o estado de conservação de grande parte do património edificado. O valor máximo da actualização de rendas depende do coeficiente de conservação do edifício e do valor patrimonial tributário. O valor patrimonial tributário é utilizado para determinar o imposto municipal sobre os imóveis e reflecte o seu valor monetário do imóvel. O coeficiente de conservação reflecte o estado de conservação do imóvel e a existência de infra-estruturas básicas numa escala de cinco níveis. A elaboração do método de avaliação do estado da conservação de imóveis é efectuada pelo MAEC, referida no ponto 2.1.5.1. [21]

Benefícios fiscais

Para incentivar a adopção de medidas que promovam a reabilitação urbana, foram definidos benefícios fiscais a conceder aos proprietários de prédios arrendados que sejam objecto de acções de reabilitação e a proprietários de prédios urbanos localizados em ARU (áreas de reabilitação urbana) que sejam objecto de acções de obras de reabilitação iniciadas após Janeiro de 2008 e concluídas até Dezembro de 2020. Os benefícios fiscais a conceder, são os seguintes: [22]

- IRS - Dedução à colecta de 30% dos encargos suportados pelo proprietário relacionados com a reabilitação, até ao limite €500;
- Mais-valias - Tributação à taxa reduzida de 5%, quando estas sejam inteiramente decorrentes da alienação de imóveis reabilitados em ARU;
- Rendimentos prediais - Tributação à taxa reduzida 5% após a realização das obras de recuperação;
- IMI - Isenção por um período de 5 anos, o qual pode ser prorrogado por mais 5 anos;
- IMT - Isenção na 1ª transmissão de imóvel reabilitado em ARU, destinado exclusivamente a habitação própria e permanente.

Paralelamente foram criados benefícios para fundos de investimento imobiliário em reabilitação urbana. Os benefícios fiscais concedidos são os seguintes: [22]

- IRS - Isenção de IRS, desde que pelo menos 75% dos seus activos sejam imóveis sujeitos a acções de reabilitação em ARU;
- Tributação das unidades de participação à taxa especial de 10%, em sede de IRS e IRC, nos termos previstos.

Programa Jessica

O programa JESSICA (Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas) é um instrumento financeiro promovido pela Comissão Europeia (CE) e pelo Banco Europeu de Investimento (BEI). Esta iniciativa prevê a mobilização de fundos comunitários numa óptica de financiamento reembolsável e no âmbito de novos mecanismos de engenharia financeira: os Fundos de Desenvolvimento Urbano (FDU). [23]

Os recursos públicos mobilizados no âmbito da Iniciativa JESSICA permitem incentivar o investimento de privados em FDU, criando soluções financeiras que viabilizem as operações de regeneração urbana de maior risco ou de rentabilidade mais reduzida para o mercado, sob a forma de parcerias público-privadas ou outras. [23]

As áreas de intervenção do programa Jessica são: [23]

- Reabilitação e regeneração urbana incluindo a regeneração de equipamentos e infra-estruturas urbanas;
- Eficiência energética e energias renováveis;
- Revitalização da economia urbana, especialmente pequenas e médias empresas e empresas inovadoras;
- Disseminação das tecnologias da informação e da comunicação em áreas urbanas, incluindo redes de banda larga e sem fios;

A reabilitação urbana pode ser vista como a grande oportunidade das cidades se adaptarem às exigências actuais em que valores como a sustentabilidade, a mobilidade, a eficiência energética ou o aumento dos padrões de conforto ganham cada vez mais importância. Os edifícios sendo um dos recursos mais importantes das cidades dever-se-ão também adaptar a estas exigências. No entanto, apesar do seu valor, grande parte do parque edificado existente apresenta um estado de degradação física e estrutural acentuado e uma inadequação funcional aos padrões actuais de salubridade, conforto e segurança. Deste modo para que a reabilitação do parque edificado seja bem estruturada e objectiva é necessário que se tenha a percepção de quais são as principais anomalias nos edifícios do parque edificado.

2.3 Principais anomalias do parque edificado

Para que a reabilitação de edifícios optimize as condições de habitabilidade desejadas pelos ocupantes e melhore a qualidade de vida nos centros urbanos é importante que se identifiquem quais as principais anomalias do parque edificado. Deste modo identificam-se como principais tipos de anomalias dos edifícios existentes: [3]

- Deficientes condições de segurança (nomeadamente estrutural e contra incêndio);
- Deteriorização física e estrutural devida à passagem do tempo, poluição, exposição aos agentes climáticos ou falta de conservação e manutenção;
- Inadequação funcional aos actuais padrões de conforto, salubridade e segurança;
- A utilização de terrenos inadequados para urbanização (pela sua pendente ou pela desadequada exposição solar);

Conhecendo as principais anomalias do parque habitacional português será possível não só suprimir as anomalias identificadas, como também desenvolver estratégias para melhorar o desempenho dos edifícios existentes. No âmbito deste trabalho, considerou-se que seria importante analisar a humidade, a fissuração, a falta de qualidade do ar, a ineficiência energética, o excessivo consumo de água e a falta de durabilidade dos materiais por serem anomalias bastante comuns nos edifícios existentes em Portugal.

2.3.1 Humidade

A humidade diminui as condições de salubridade dos espaços interiores, afectando a qualidade de vida dos ocupantes, podendo também por em perigo, em casos extremos, as condições de segurança das construções. A humidade dá, geralmente, origem a manchas de humidade e pode provocar o aparecimento de outro tipo de patologias como manchas de bolores e fungos.

A humidade pode ser dividida nos seguintes tipos: [24]

Humidade de construção – Este tipo de humidade tem como causas principais a elevada quantidade de água empregue nos materiais utilizados na construção, assim como a acção directa da chuva na fase de construção de um edifício. Quando as quantidades de água nos elementos de construção são excessivas, as condições de evaporação podem ser diferentes do aconselhável provocando manchas de humidade ou condensações. A evaporação da humidade nos materiais pode originar expansões ou destaques de algum material;

Humidade do terreno – É a humidade proveniente de águas superficiais ou freáticas que ascendem pelas fundações e/ou pelo interior das paredes, quer estas estejam enterradas ou não. A altura atingida pela água pode permitir identificar o tipo de proveniência da água. O ciclo secagem-molhagem é um dos processos que mais contribui para a degradação das alvenarias, devido às cristalizações e diluições dos sais que se traduzem em retracções e expansões dos materiais. As patologias associadas a este tipo de humidade são geralmente manchas de humidade junto ao solo, por vezes acompanhadas de efluorescências, criptofluorescências, manchas de bolores e/ou vegetação parasitária;

Humidade de precipitação – Este tipo de humidade deve-se à infiltração da água das chuvas devido à acção do vento, à permeabilidade e porosidade dos revestimentos ou à existência de fendas ou fissuras. A água fica retida na parede criando manchas no paramento interior das paredes. O aparecimento de humidade proveniente de precipitação no isolamento térmico também se reflecte no aumento da sua condutibilidade térmica propiciando a ocorrência de condensações. As patologias devidas a este tipo de humidade manifestam-se através de manchas de humidade nos paramentos interiores das paredes exteriores, podendo também ocorrer o aparecimento de efluorescências, criptofluorescências e manchas de bolores;

Humidade de condensação – Este tipo de humidade gera-se devido a grandes diferenças nas temperaturas nas faces das paredes, associado a elevada humidade relativa. Este tipo de humidade manifesta-se normalmente junto às paredes exteriores, em especial nas zonas de pontes térmicas e é caracterizado pelo aparecimento manchas de humidade devido a condensações superficiais que propiciam manchas de bolor. Se ocorrerem condensações no interior das paredes podem ocorrer danos no isolante térmico, por outro lado a humidade diminui a resistência térmica da parede o que pode provocar o aparecimento de condensações superficiais. A humidade de condensação está relacionada com o tipo de aquecimento, ventilação ou isolamento térmico;

Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade – A existência de sais solúveis num grande número de materiais usados na construção leva a que quando as paredes estão humedecidas, os sais presentes nos materiais possam ser conduzidos pelo interior da parede, podendo cristalizar no interior ou exterior do reboco, designando-se estes fenómenos por criptoflorescências e efluorescências, respectivamente. Alguns dos sais que cristalizam aumentam de volume quando a humidade relativa sobe acima dos 65/75% e retraem quando esta baixa, provocando a degradação das paredes, ao fim de vários ciclos de dissoluções - cristalizações. Este tipo de humidade dá-se, geralmente, devido a outros tipos de humidade que possam já ter cessado e é caracterizada pelo aparecimento de manchas de humidade com forte concentração de sais, normalmente associados à degradação dos revestimentos das paredes;

Humidade devida a causa fortuitas – Este tipo de humidade é caracterizada pelas suas causas de formação serem de natureza pontual, decorrentes dos defeitos de projecto, da construção, do material ou da manutenção, de erros humanos, de acidentes, entre outros;

2.3.2 Fendilhação

A fendilhação pode, entre outras causas, surgir devido a fenómenos estruturais ou devido a fenómenos de retracção. As fendas devidas a fenómenos estruturais, normalmente estão associadas a esforços induzidos (carregamentos excessivas) ou a assentamentos de apoios aos quais os elementos

construtivos não conseguem resistir. A fendilhação devido a fenómenos de retracção dá-se, geralmente, devido à aplicação de argamassas com boa resistência à compressão mas pouco elásticas. As zonas onde ocorre fendilhação são bastante propícias à infiltração de água, que se manifesta sobre a forma de humidade. Segundo um estudo do “ Bureau Securitas”, cerca de 85,4% das anomalias detectadas em alvenarias são fenómenos de fendilhação. A infiltração devido a fendilhação, constitui 91,4% do total de infiltrações. [25][26]

2.3.3 Deficiência qualidade do ar

A qualidade do ar é uma exigência funcional de extrema importância num edifício, não só porque influencia a saúde, conforto e produtividade dos habitantes, mas também porque permite evitar a formação de condensações e, consequentemente evitar a formação de patologias nos elementos construtivos. [27]

A qualidade do ar é um problema que atinge uma grande parte habitações em Portugal. Segundo o projecto “Habitar” 60% das 600 habitações onde a qualidade do ar foi controlada, esta não se encontrava nos padrões regulamentares. [28]

Os edifícios antigos são os que mais se deparam com problemas de deficiência da qualidade do ar. As principais razões para a ocorrência deste tipo de patologias são a existência de: [3]

- Compartimentos interiores sem abertura para o exterior (a abertura de ar é para espaços exíguos, ou simplesmente não existem aberturas);
- Janelas com dimensões inferiores às mínimas regulamentares para a área que servem, ou que abrem para espaços exteriores exíguos;
- Apenas uma fachada, impossibilitando a ventilação transversal;
- Esquentadores e botijas de gás em instalações sanitárias interiores;
- Sistema de aquecimento à base de lareiras, sem ventilação adequada;
- Cozinhas onde a ventilação apenas se processa por pequenas frestas.

A ventilação de edifícios antigos era feita essencialmente pelas folgas nas portas exteriores e caixilharias, no entanto, a substituição destes elementos por elementos novos, permitiu aumentar a estanquidade destes elementos, o que fez com que a ventilação natural fosse diminuída para valores menores que os estipulados pelos regulamentos (1rph em compartimentos principais e 4rph em compartimentos de serviço).

A inexistência de admissões de ar exterior e a alteração dos hábitos dos ocupantes são outras razões que propiciam uma ventilação deficiente. A passagem de ar entre compartimentos deve ser feita através de folga ou grelhas nas portas ou grelhas na parede. [24]

No caso da ventilação ser feita para toda a habitação, a evacuação de ar deve ser feita com recurso a extracção mecânica ou por tiragem térmica (sendo que esta só é eficiente quando a temperatura do ar exterior é 5 a 8°C inferior à temperatura interior, o que se verifica durante poucos meses em Portugal). [24]

A falta de limpeza de sistemas de climatização e a utilização de materiais de construção que emitem partículas poluentes para a atmosfera também afectam a qualidade do ar interior.

2.3.4 Ineficiência energética

O aumento das exigências de conforto associado às deficiências de isolamento térmico que grande parte das habitações possuem, tem motivado a procura de soluções de aquecimento e arrefecimento, sendo o recurso a equipamentos eléctricos a solução mais usual. [3]

O sector doméstico é um dos maiores consumidores de energia representando 17% do consumo total anual de electricidade, em Portugal. [29]

Grande parte da energia consumida nos edifícios é na forma de electricidade. A utilização racional de energia eléctrica é um objectivo individual e colectivo que é possível de ser atingido implementando estratégias que previligiem a eficiência energética na concepção e construção dos edifícios, assim como na utilização inteligente dos equipamentos consumidores de energia.

Os factores que mais influenciam os excessivos consumos energéticos nas habitações são: [30]

- O grau de conforto exigido pelos utilizadores e seu comportamento;
- O número de utilizadores;
- Condições climáticas do local, onde se encontra implantado o edifício;
- Resistência térmica, orientação e área dos elementos das envolventes do edifício (parte opaca e envidraçados);
- As perdas e ganhos de carga térmica associados à renovação do ar interior;
- Volume da construção (área útil e pé direito médio);
- Condições económicas dos utilizadores;
- Eficiência energética dos equipamentos existentes.

Com o objectivo de diminuir o consumo de energia eléctrica nas habitações devem ser tidos em consideração no projecto de edifícios e na sua utilização, os seguintes conceitos: [31]

- Construção de edifícios com recurso a sistemas solares passivos;

- Utilização de sistemas de aquecimento de água mais eficientes;
- Produção doméstica de energia eléctrica com recurso a energias renováveis;
- Selecção cuidadosa dos equipamentos eléctricos, tendo em consideração a etiqueta energética;
- Utilização racional de equipamentos;

Um estudo da Quercus demonstra a importância que os elementos construtivos podem ter no consumo de energia, em função necessidades energéticas de climatização e iluminação que lhe estão associadas. Este estudo mostra também a diferença entre o consumo real de energia e a percepção errada dos consumos energético pelos ocupantes. Uma das medidas mais importantes combater a ineficiência energética passa por acções de sensibilização junto da população para o uso racional de energia. [29]

Quadro 2.6 - Comparação da repartição do consumo doméstico de electricidade [29]

Categoria do Consumo	Distribuição de Consumos (%)	Percepção das famílias inquiridas no estudo EcoFamílias (%)
Frio	32	21
Aquecimento e Arrefecimento	17	12
Iluminação	12	10
Máquinas de lavar e secar (roupa e loiça)	10	26,5
Entretenimento	9	12
Cozinha (forno e pequenos electrodomésticos)	3	12
Informática	2	5

2.3.4.1 Envolvente dos Edifícios

Um dos principal fenómeno físico responsáveis pela transferência de calor em edifícios é a condução através da envolvente. A envolvente de um edifício pode ser dividida em envolvente interior, se as trocas de calor forem entre o ambiente interior da habitação e ambientes não climatizados (garagens, zonas comerciais ou outras habitações adjacentes ao edifício) e envolvente exterior, quando as trocas de calor são feitas entre o ambiente interior e o exterior. A envolvente pode ainda ser dividida em zona corrente onde se admite que a transferência de calor é unidireccional e que a resistência térmica do elemento construtivo é constante, e as zonas de pontes térmicas onde o fluxo de calor deixa de ser unidireccional e passa a ser bi ou tridimensional, nestas zonas a hipótese de uniformidade da resistência térmica não é admitida. [32]

As pontes térmicas são zonas pontuais da envolvente do edifício onde as trocas de calor se dão com um fluxo muito superior à zona corrente da envolvente. A existência de pontes térmicas foi, depois da imposição do segundo RCCTE, mais controlada (antes desta imposição não existia controlo sobre o limite do coeficiente de transmissão térmica nas pontes térmicas). Actualmente o limite do coeficiente de transmissibilidade térmica nas pontes térmicas é, no máximo, igual a duas vezes o coeficiente de transmissibilidade térmica da zona corrente onde essa ponte térmica está inserida. [14][27][29]

As perdas e ganhos de calor pela envolvente são dependentes da resistência térmica dos elementos construtivos. A envolvente exterior é, geralmente, constituída por elementos opacos e vãos envidraçados.

Do ponto de vista técnico as principais causas das anomalias relacionadas com o isolamento térmico são: [29]

- A espessura insuficiente do isolante ou a inexistência do mesmo;
- A existência de pontes térmicas;
- Vãos envidraçados e portas;
- Ausência de protecções solares adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação deficiente;
- A sua degradação devido à humidade.

A degradação do isolante térmico devido à humidade diminui substancialmente a capacidade de isolamento dum elemento. Esta degradação pode-se dar devido à humidade de precipitação ou por má execução das paredes duplas. [29]

Elementos opacos

A optimização do comportamento térmico em paredes exteriores pode ser feita, essencialmente, através de três tipos de soluções: [24]

- O reforço do isolamento pela face interior da parede;
- O reforço do isolamento pela face exterior da parede;
- O reforço do isolamento térmico no interior das caixas de ar (para o caso de paredes duplas).

O reforço do isolamento pelo exterior é, em geral e desde que não existam condicionalismos arquitectónicos, a solução preferível face aos outros tipos de soluções referidas. [3]

Desta forma para além de se garantir um aumento do conforto térmico dos espaços minimizando o recurso a equipamentos eléctricos e, consequentemente, os custos energéticos que lhe estão associados, também se diminui o risco de ocorrência de condensações. [24]

As espessuras dos isolantes térmicos a utilizar deverão ser determinadas em função do tipo de parede existente e da solução de reforço seleccionada, procurando respeitar as condições impostas no RCCTE. [3]

Segundo o estudo EcoFamílias, realizado pela Quercus, a tipologia de parede exterior mais comum no universo analisado é composta por parede dupla de tijolo com isolamento térmico EPS, como se pode observar na Figura 2.12. [29]

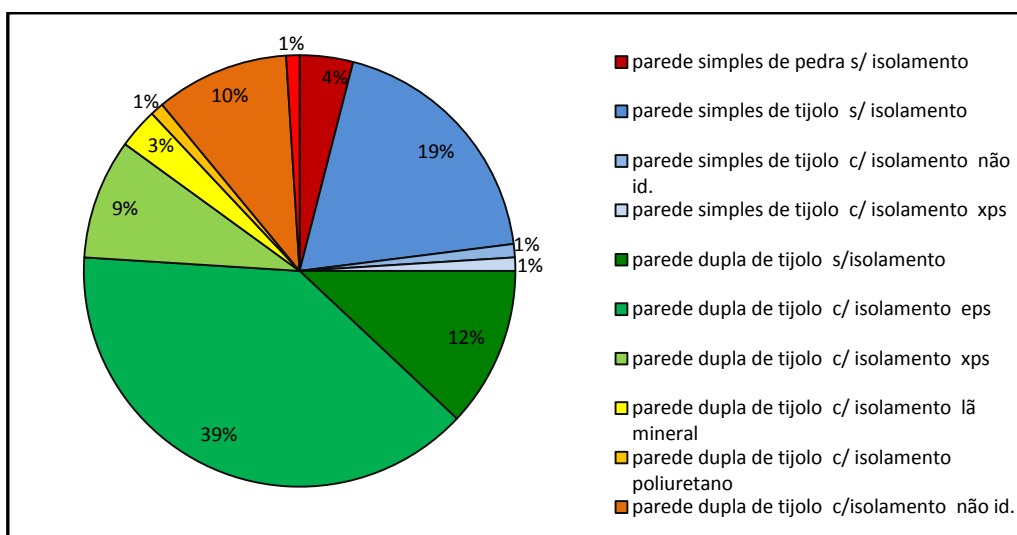


Figura 2.12 - Tipo de parede e isolamento existente nas habitações das EcoFamílias [29]

As soluções de reforço na cobertura são determinadas em função das condições climáticas do local, das exigências de ocupação (desvão da cobertura ocupado ou não) e do tipo de solução a aplicar. [3]

Em coberturas inclinadas o reforço do isolamento térmico pode ser feito, essencialmente por quatro tipos de opções: [3]

- Isolamento aplicado ao longo das vertentes, em posição superior;
- Isolamento aplicado ao longo das vertentes, em posição inferior;
- Isolamento aplicado na esteira do tecto, em posição superior (se o desvão for não habitado);
- Isolamento aplicado na esteira do tecto, em posição inferior.

Quando a solução de isolamento é aplicada na esteira do tecto é preferível que esta seja em posição superior, principalmente quando existe laje de esteira, porque deste modo a estrutura é protegida das variações térmicas e o risco de ocorrência de condensações internas é reduzido. [3]

Em coberturas horizontais para que o isolamento seja reforçado existem, essencialmente, três tipos de soluções, dependentes da localização do isolante: [3]

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior;

Entre estas soluções a mais recomendável é o isolamento térmico superior por ser mais fácil de executar que o isolamento térmico intermédio e por o isolamento térmico inferior não proteger a estrutura das variações térmicas.

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados têm uma importância bastante preponderante no balanço energético dos edifícios, podendo representar 25 a 30 % de perdas térmicas na estação de aquecimento. [14]

A importância dos vãos envidraçados deve-se não só à sua contribuição para o isolamento térmico do edifício, na redução das infiltrações de ar não-controladas e na melhoria da ventilação natural, mas também, porque permitem obter uma optimização dos ganhos solares, contribuindo deste modo para o melhoramento das condições de conforto e para a diminuição dos consumos energéticos.

Em Portugal a estação de arrefecimento é, em geral, longa. É, portanto, fundamental o controlo dos ganhos solares. Para tal é bastante importante que o vão disponha de dispositivos de sombreamento eficazes. O tipo e grau de sombreamento a aplicar depende da latitude do local de implementação do edifício, da orientação do edifício e da geometria dos vãos a sombrear. [3]

Em edifícios com bastante ocupação nocturna é importante o recurso a protectores solares que permitam a oclusão nocturna. Estes dispositivos permitem que se forme um espaço de ar fracamente ventilado entre a protecção solar e a janela, o que diminui as trocas térmicas pelo vão envidraçado. [14]

A utilização de vidros duplos ou triplo com baixa emissividade ou com gases raros na câmara-de-ar, o correcto dimensionamento dos vãos ponderando as necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação, a espessura da lâmina de ar entre os vidros são aspectos que devem ser ponderados tendo em conta as funcionalidades pretendidas para o edifício e o custo das soluções. [14]

Outro elemento com particular importância nos vãos envidraçados é a caixilharia. Esta tem como principal função garantir a estanquidade e a operacionalidade dos vãos, contribuindo para a optimização do desempenho energético e do conforto do edifício. As caixilharias são normalmente de alumínio, PVC ou madeira. No caso de serem de madeira é importante que esta seja seca e de boa qualidade para que não venha a empenar provocando um aumento de infiltração de ar não controlada. Uma medida importante para melhorar o comportamento térmico das caixilharias é o corte térmico das cantarias. Como princípio geral deve-se tentar que a janela fique complanar com o isolante térmico da parede, devendo-se garantir que a cantaria do vão também é interrompida pelo isolante térmico. Deve-se, também, ter especial cuidado à permeabilidade ao ar nas caixas de estore pois as infiltrações por este elemento podem ser iguais ou superiores às infiltrações pelas janelas [14][33]

Analisando os dados do estudo EcoFamílias, apresentados na Figura 2.13, verifica-se que a maioria dos vãos envidraçados, no universo em análise, é composta por vidro duplo (52%) e que a maioria do material da caixilharia é alumínio (71%). [29]

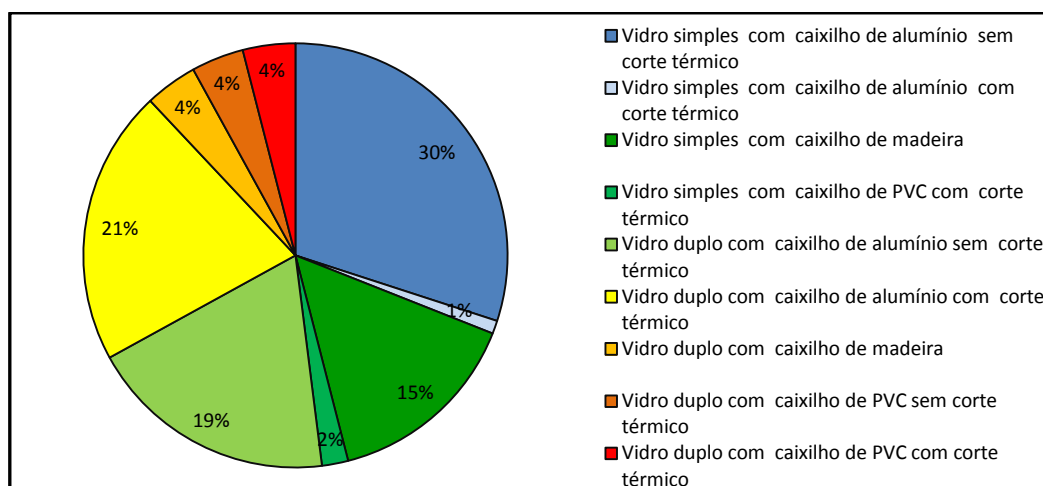


Figura 2.13 - Tipo de envidraçados existentes nas habitações das EcoFamílias [29]

No âmbito do PNAEE foi criado um programa de incentivo à melhoria do comportamento de janelas, o programa “Janela eficiente”. Este programa tem como objectivo a reabilitação dos vãos envidraçados de cerca de 160 mil fogos até 2015, com a instalação de 1,6 milhões de m² de vidros eficientes. Esta reabilitação será feita recorrendo à utilização de estruturas de caixilharia com corte térmico e à utilização de vidros duplos e de baixa emissividade. O potencial de poupança energética estimado para esta medida é de 156.870 GJ até 2015. [34]

2.3.4.2 Iluminação natural

Quando se projecta a localização dos vãos envidraçados é preciso ter a noção que é por esses vãos que se obtém a radiação para aquecer o interior do fogo mas também que é por esses vãos que se obtém a iluminação natural. É, portanto, importante fazer uma boa articulação entre estes dois factores, para que se garantam boas características de comportamento térmico mas também boas condições de visibilidade. É fundamental que se saibam as características da divisão que será iluminada, qual a sua função e qual a quantidade de luz disponível, de modo a que os vãos do edifício permitam minimizar os consumos de energia para aquecimento e arrefecimento e, simultaneamente, garantir uma iluminação adequada. [14]

Em Portugal a orientação Sul é a que apresenta maiores potencialidades de aproveitamento solar. No entanto, é importante que esta incidência seja controlada na estação de arrefecimento com recurso a palas de sombreamento horizontais, estores, portadas e outros equipamentos de sombreamento de forma a que não exista encandeamento dos ocupantes. Os espaços dos fogos onde se preveja a permanência de pessoas, devem dispor de vãos a Sul, Nascente e Poente, para receberem directamente a radiação solar e desta forma garantir boas condições de iluminação, enquanto os restantes espaços (de circulação, arrumos, garagens, etc.) devem estar preferencialmente localizados a Norte. [14] [29]

As condições climáticas em Portugal são propícias a um bom aproveitamento da radiação solar, no entanto, por vezes há um subaproveitamento deste factor. São exemplo disso: [3]

- Obstruções à luz natural por parte de edifícios fronteiros (altura de edifícios demasiado elevados, tendo em conta a largura das ruas);
- Orientações desfavoráveis dos vãos envidraçados devido a constrangimentos urbanísticos e de loteamento;
- Dispositivos de protecção solar não compatíveis com os requisitos de iluminação natural e com a necessidade de oclusão nocturna;
- Inadequação das características dos vãos envidraçados (dimensão, forma e localização);
- Dispositivos de sombreamento ineficazes;
- Compartimentos, com aberturas para o exterior, demasiado profundos;
- Compartimentos interiores sem comunicação visual e luminosa com o exterior;
- Revestimentos no interior de habitações com fraca iluminação natural são de cor escuras, o que dificulta a reflexão da luz.

Para garantir uma eficaz iluminação natural devem ser aplicadas, sempre que possível, as seguintes medidas: [14]

- Execução de mais do que uma abertura para iluminação sempre que a distância duma divisão ao vão seja maior que duas vezes a altura do pé-direito;
- Recurso à iluminação zenital (clarabóias, lanternins, poços de luz, etc.) de modo a que se obtenha uma distribuição mais uniforme da iluminação natural;
- Todos os vãos envidraçados devem ter uma protecção da incidência directa da radiação solar (para que não exista desconforto visual).

Em Portugal os valores médios adequados para o dimensionamento de vãos envidraçados em fachadas de edifícios residenciais, admitindo vidros duplos e dispositivos de sombreamento, são os indicados no Quadro 2.7. [14]

Quadro 2.7 – Valores óptimos das percentagens de envidraçados por fachada [14]

Orientação	Aquecimento	Aquecimento e Arrefecimento
Norte	20%	15%
Sul	40%	30%
Este/Oeste	25%	20%

2.3.4.3 Iluminação artificial

A iluminação artificial deve ser apenas um complemento à iluminação natural, porém o consumo energético associado à iluminação continua a aumentar e é responsável por 12% dos gastos energéticos em habitações. [29]

Analisando o estudo Ecofamílias da Quercus, é perceptível que existe uma mudança nos hábitos de consumo de lâmpadas em Portugal. Apesar de ser perceptível a tendência de diminuição de utilização de lâmpadas incandescentes, a utilização de lâmpadas incandescentes ainda representa 46% das lâmpadas utilizadas para iluminação, como é observável na Figura 2.14. [29]

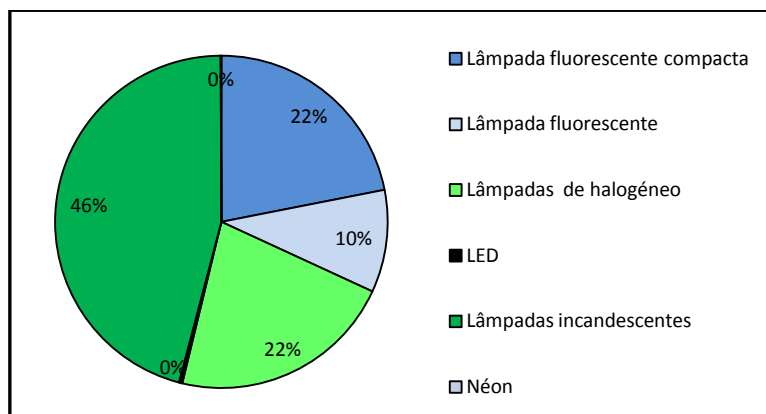


Figura 2.14 - Percentagem de presença dos vários tipos de lâmpadas nas EcoFamílias [29]

O potencial de poupança energética em iluminação artificial é bastante elevado. Trocando as lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas de halogéneo por lâmpadas economizadoras reflectoras é possível ter um retorno do investimento em 5 anos. [29]

As lâmpadas fluorescentes são as mais eficientes, o que as torna muito mais económicas, permitindo uma poupança de 66,5€, por vida útil (12.000 horas) relativamente ao custo que teria de ser feito em lâmpadas incandescentes para o mesmo período. [33]

O facto das lâmpadas incandescentes só libertarem 10% do valor da energia que consomem e o restante ser libertado sob a forma de calor aumenta bastante os ganhos internos úteis, o que na estação de arrefecimento se repercute no aumento de energia consumida para arrefecimento, assim como na diminuição do conforto dos ocupantes. [35][29]

Para otimizar o consumo energético dever-se-ão também utilizar equipamentos que só forneçam o fluxo necessário de luz (reguladores de fluxo, temporizadores e sensores de presença).

2.3.4.4 Equipamentos

Os equipamentos que mais influenciam a eficiência energética habitacional são os equipamentos de entretenimento, climatização e sistemas de aquecimento de águas sanitárias. [29]

Os excessos de consumo energético provenientes de equipamentos utilizados em habitações estão, normalmente, relacionados com: [3]

- Sistema de controlo inadequado, conduzindo a uma menor eficiência energética e

comprometendo as condições de conforto;

- Problemas de segurança associados à temperatura atingida por alguns sistemas de aquecimento ou à emissão de efluentes da combustão que não são adequadamente removidos pelo sistema de ventilação, degradando a qualidade do ar interior;
- Potência térmica dos equipamentos desajustada às necessidades;
- Baixo rendimento energético dos equipamentos.

Dos sistemas de aquecimento de águas sanitárias, analisados no estudo EcoFamílias, o gás prevalece como fonte de energia para aquecimento de águas e apenas 6% dos inquiridos utiliza fontes de aquecimento renováveis, como se pode observar na figura 2.15. [29]

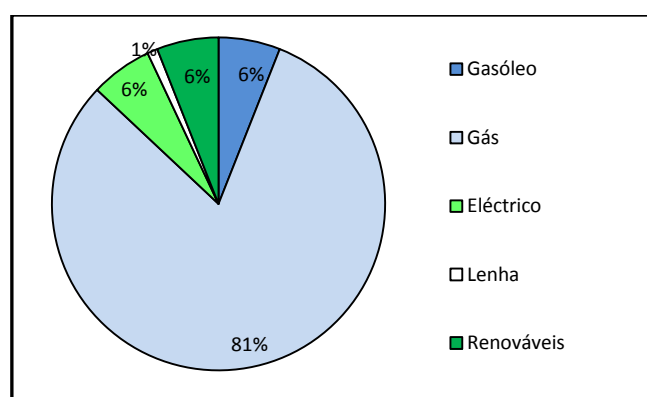


Figura 2.15 - Distribuição das várias formas de energia para AQS, nas EcoFamílias [29]

No que respeita aos equipamentos de climatização, os equipamentos eléctricos são os mais utilizados sendo o irradiador a óleo o equipamento mais comum (30%), seguido do ar condicionado (18%), em detrimento de outros equipamentos mais eficientes, como a bomba de calor. [29]

As anomalias mais frequentes, associadas aos equipamentos fixos, como bombas de calor, são o ruído causado pela deficiente manutenção ou a poluição do ar causado pela falta de limpeza periódica dos filtros. Os problemas mais comuns associados aos sistemas de aquecimento central estão associados à fase de projecto, à manutenção, ao insuficiente isolamento das tubagens de água quente ou à potência impossível de controlar. [3]

2.3.5 Consumo excessivo de Água

O consumo de água tem sofrido um crescimento exponencial, que tem como principais causas o crescimento da população, as alterações do seu estilo de vida e as alterações climáticas. Entre 1990 e 2000 o consumo de água cresceu seis vezes no Planeta. Torna-se, portanto, necessário que seja feita uma racionalização do uso da água. O sector doméstico representa e 5% do consumo total anual de água. [36]

A distribuição quantitativa dos consumos domésticos de água em habitações é perceptível analisando a Figura 2.16.

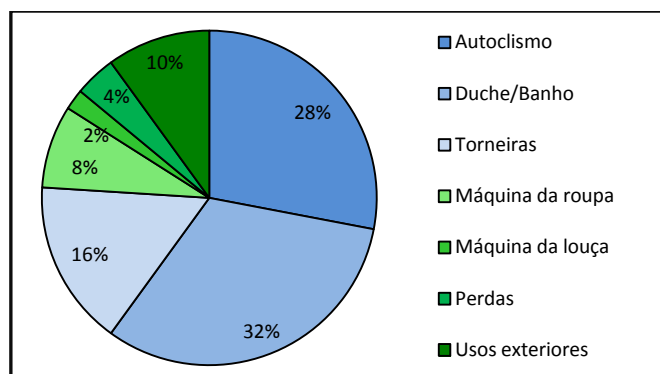


Figura 2.16 – Consumo doméstico de Água com utilização em exteriores [28]

Da análise da figura 2.16 é possível concluir que as actividades de higiene pessoal e descargas de autoclismo representam 60% do total de consumo de água doméstico de moradias unifamiliares. É também possível concluir que o consumo de água para fins não potáveis representa 46% do consumo total de água.

Para atenuar os elevados consumos de água na utilização das habitações dever-se-iam adoptar políticas de incentivo à utilização sustentável da água. A criação de redes secundárias onde fosse feita a distribuição de águas pluviais para fins não potáveis, como a rega ou o enchimento de piscinas deveriam ser incentivados para que o consumo de água potável fosse reduzido e assim se contribuísse para uma optimização do uso de água potável, minimizando os desperdícios, o que se reflectiria a nível económico e ambiental.

O consumo excessivo de água nas habitações deve-se essencialmente a duas razões: [37]

- À falta de consciencialização das populações para a redução do consumo excessivo de água;
- À utilização equipamentos que não são eficazes na distribuição de água (torneiras, chuveiros e autoclismos);

As perdas de água nos sistemas de abastecimento predial representam uma pequena parte do consumo de água, no entanto, podem ter consequências bastante graves para os elementos construtivos, pois existe o risco dessa água se transformar em humidade devido a causas fortuitas. Estas perdas são geralmente causadas por erros de dimensionamento ou de escolha de tubagens, que não têm a resistência adequadas aos esforços, aos agentes químicos ou a grandes variações de temperatura.

Para aumentar a eficiência do uso da água dever-se-iam utilizar mecanismos que reduzissem os caudais dos equipamentos (torneiras, chuveiros e autoclismos) ou dever-se-ia promover a utilização de

equipamentos com capacidades de armazenamento menores (autoclismos), diminuindo deste modo o consumo de água sem prejuízo das condições de higiene pessoal dos utilizadores. [37]

2.2.6 Falta de durabilidade dos materiais

A escolha de materiais a aplicar na construção civil deve ser feita com base na função que os materiais irão desempenhar, nas condições em que vão estar inseridos, nas solicitações pelas quais vão ser actuados, e obviamente no seu custo.

Muitas vezes os materiais são escolhidos tendo apenas por base o custo, e não considerando factores como a durabilidade, o desempenho, a manutenção, entre outros. A degradação que é patente no património edificado português é, em parte, devida á escolha incorrecta de materiais ou ao facto destes estarem no final da sua vida útil e não se proceder à sua substituição.

Para além dos efeitos visíveis da falta de qualidade de materiais, muitas vezes surgem efeitos secundários bastante mais graves e com um custo bastante superior ao custo do material que desencadeou o efeito patológico primário.

As políticas que incentivaram o excessivo crescimento do número de habitações novas (muitas vezes de má qualidade) em detrimento da aposta na reabilitação do património edificado existente contribuíram para a sua degradação e para a falta de preocupação com conforto dos seus ocupantes. No entanto, os padrões de conforto e de qualidade das habitações têm sofrido um crescimento significativo ao longo das últimas décadas, especialmente após a aplicação do primeiro RCCTE .

A ineficiência energética é uma das principais anomalias do parque edificado português, com reflexos bastante significativos na qualidade de vida e nos custos dos habitantes e no meio ambiente.

É, portanto, fundamental que tanto os novos edifícios como os existentes respeitem os padrões de conforto higrotérmico actuais, assim como é importante que estes tenham um consumo racional de energia.

2.4 Certificação energética do parque construído

2.4.1 Enquadramento

O parque habitacional português tem, como já foi referido, claras necessidades de otimizar o desempenho térmico e energético de grande parte das habitações existentes. Torna-se, portanto, fundamental que sejam adoptadas medidas que promovam a eficiência energética, para que os consumos energéticos sejam reduzidos e o conforto das habitações seja optimizado proporcionando

melhor qualidade de vida aos seus habitantes e contribuindo para a diminuição dos danos no meio ambiente.

A análise da certificação energética no parque construído tem particular importância, na medida em que este trabalho tem como principal objectivo introduzir medidas que promovam o aumento do nível de eficiência energética nos edifícios já construídos.

A implementação da certificação energética nos edifícios é fulcral para que estes objectivos sejam cumpridos.

A dependência energética, na Europa é bastante elevada. Em Portugal, em 2008 as importações energéticas representavam 83% do consumo total de energia, como é visível na Figura 2.17. [38]

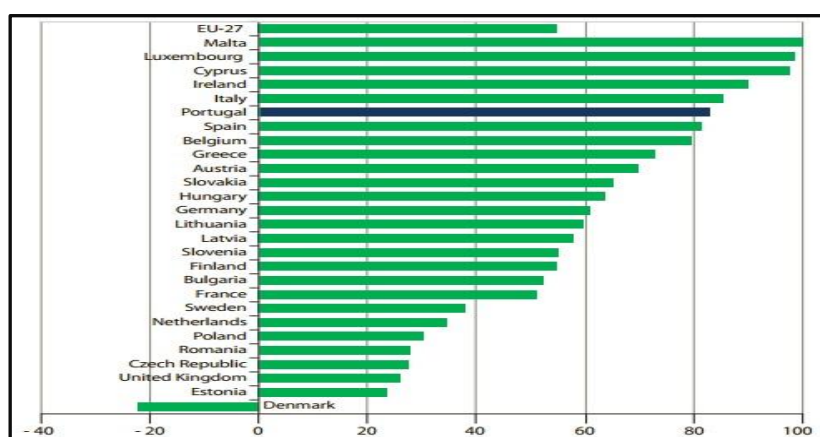


Figura 2.17 – Dependência energética na UE-27[38]

Este facto faz com que o sistema energético nacional seja bastante dependente das variações dos preços internacionais dos combustíveis fósseis para produção de electricidade. [39]

O consumo de energia total per capita tem crescido, particularmente no sector doméstico, a um ritmo bastante elevado, ao longo dos últimos anos em Portugal (Figura2.18). [40]

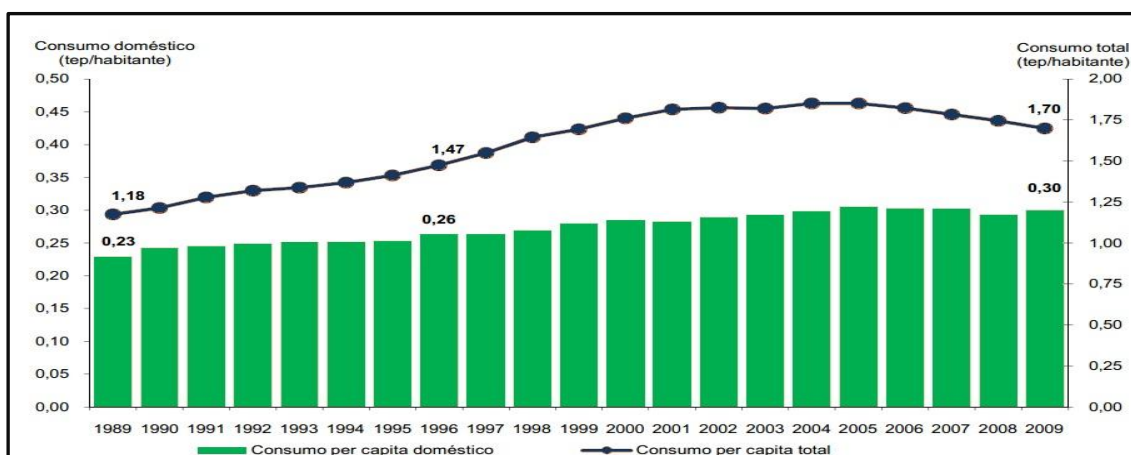


Figura 2.18 - Consumo de energia per capita e consumo no sector doméstico per capita [40]

Analisando o inquérito ao consumo de energia no sector doméstico em Portugal, realizado pelo INE/DGEG, para um período de referência de Outubro de 2009 a Setembro 2010, verificou-se que o consumo total de electricidade nos alojamentos rondou os 14.442 milhões de kWh, correspondendo a 1,2 milhões de tep o que representa uma despesa global superior a 2 mil milhões de euros, ou seja, 840€/Alojamento. As despesas com a electricidade, representam a grande maioria de despesas com energia no alojamento, como é patente na Figura 2.19. [40]

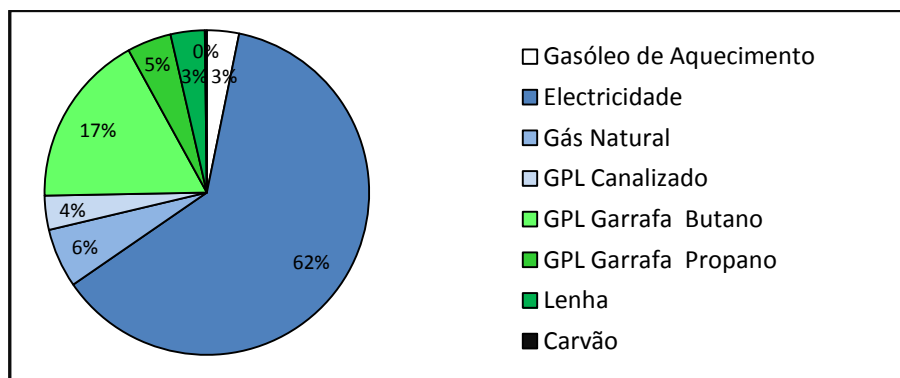


Figura 2.19 - Distribuição das despesas com energia em alojamento, em 2010 [40]

Neste contexto, é necessário que sejam tomadas medidas de incentivo à eficiência energética. A eficiência energética é a forma de fomentar um crescimento inteligente e sustentável da economia, através dum consumo eficiente de recursos energéticos, de modo que seja minimizada a sua vulnerabilidade aos mercados energéticos, que os custos para os consumidores sejam menores e que as emissões de gases com efeito de estufa e outros poluentes sejam reduzidas. [41]

As preocupações com os excessivos consumos energéticos e as suas consequências sociais e ambientais fizeram com que novas medidas tivessem de ser tomadas. Em 2002 o Conselho Europeu e a UE estabeleceram a Directiva Europeia 2002/91/CE, que impõe aos Estados Membros da União Europeia a emissão de Certificados Energéticos nos seguintes casos: [42]

- Para obtenção de licença de utilização em edifícios novos;
- Aquando de uma reabilitação importante de edifícios existentes (custo > 25% do valor do edifício sem terreno);
- Aquando da locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes;
- Periodicamente (6 anos) para todos os edifícios públicos (de serviços) com mais de 1.000 m².

Em Portugal, desde Janeiro de 2009, a certificação energética é obrigatória aquando da celebração de contratos de venda e arrendamento de edifícios para habitação e serviços.

A certificação energética é um instrumento fundamental para melhorar a eficiência energética dos edifícios. Este é um dos objectivos fundamentais do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), aprovado em 2008 e revisto em 2010, quando foi definida a Estratégia Nacional

para a Energia (ENE2020) pelo governo Português, com o objectivo de garantir o cumprimento dos metas definidas da Estratégia «Europa 2020», definida pela UE. [41][43][44]

Na Estratégia “Europa 2020” fixaram-se, entre outros objectivos, que até 2020 na UE se alcançassem as seguintes metas: [42]

- 20% de quota de Energias Renováveis no consumo total de energia;
- 20% redução mínima das emissões de gases com efeito de estufa (em comparação com os níveis de 1990);
- 20% de redução do consumo de energia primária e aumento 20% da eficiência energética;

Nesta estratégia é tida em conta a Directiva Europeia EPBD 2002/91, que foi revista e substituída pela EPBD 2010/31. [45]

Em Portugal a transposição para a ordem jurídica nacional da Directiva n.º 2002/91/CE, relativa à certificação energética é baseada no Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios (RCCTE).

O Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, tem os seguintes objectivos: [39]

- Assegurar a aplicação regulamentar que garanta a qualidade térmica dos edifícios e a eficiência energética, a utilização de sistemas de energias renováveis e a qualidade do ar interior, de acordo com as exigências contidas no RSECE e no RCCTE, que se pretende que venham a proporcionar economias significativas de energia para o País e para os utilizadores;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação, e preparação de águas quentes sanitárias, quer no que respeita à qualidade do ar interior, quer no que respeita ao desempenho energético.

A entidade gestora do SCE é a ADENE e as entidades supervisoras são a APA e a DGEG. O processo de certificação é efectuado por peritos qualificados pela ADENE, e devem incluir propostas de melhoria e a sua viabilidade económica. No processo de certificação o perito pode emitir: [39]

- Declaração de conformidade regulamentar (DCR) para obter o pedido de licença de construção. Esta declaração é válida durante a obra e emissão de certificado energético e

construção. Esta declaração é válida durante a obra e emissão de certificado energético e da qualidade do ar interior;

- Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) para obter o pedido de licença de utilização ou, em caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer do imóvel. A sua validade é de 10 anos para os edifícios ou fracções autónomas que não sejam sujeitos a auditorias ou inspecções periódicas, no âmbito do RSECE e 2, 3 ou 6 anos para os edifícios ou fracções autónomas que são sujeitos a auditorias periódicas à energia ou à qualidade do ar interior no âmbito do RSECE.

A Certificação energética tem como principais vantagens:

- Permitir aos futuros utentes obter informação sobre os consumos de energia potenciais, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou aferidos para padrões de utilização típicos;
- Conhecimento das medidas de melhoria que podem ser implementadas para reduzir os custos com a energia e o aumento do conforto das habitações;
- A valorização do imóvel (o certificado energético aumenta a confiança dos compradores/inquilinos);
- Minimização dos danos ambientais;
- Benefícios fiscais em sede de IRS - 10% de dedução à colecta de IRS dos juros e amortizações de dívidas contraídas com a aquisição, construção ou beneficiação de imóveis para habitação (com certificados com classe energética A ou A+);
- Benefícios fiscais em sede de IMI - Os proprietários dos imóveis (com classe energética A ou A+) obtêm uma redução de 10% no valor a pagar e 5 a 10% de diminuição no valor da avaliação por altura do primeiro registo nas Finanças;
- Diminuição da especulação no mercado imobiliário;
- Redução das emissões de poluentes, incluindo os gases de efeito de estufa.

Em Portugal a quantidade de edifícios certificados pelo SCE sofreu um grande crescimento aquando da aplicação dos Decreto-lei 78 a 80. No entanto, a certificação reflecte a tendência do mercado estar em baixa, tanto na construção como nas transacções imobiliárias desde 2009, como é observável na Figura 2.20. [46]

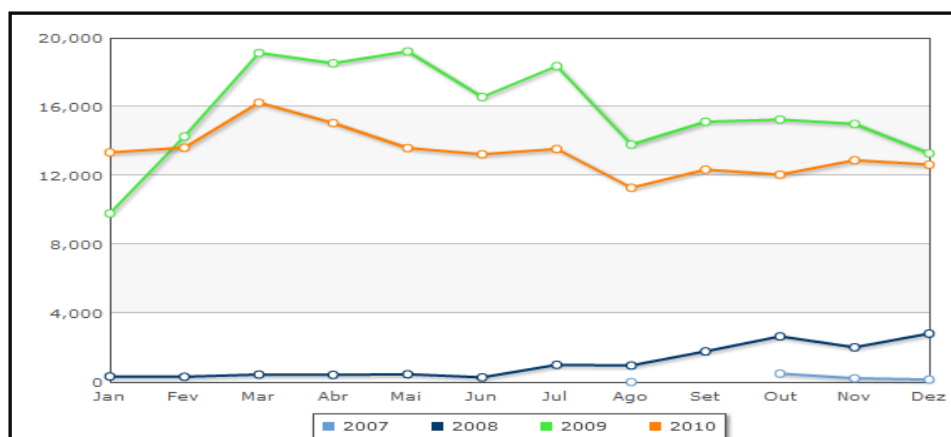


Figura 2.20 - Evolução certificação SCE em Portugal [46]

As estatísticas do SCE, realizadas pela ADENE, em Setembro de 2011 contabilizaram 443.000 imóveis certificados, destes 347.000 são respeitantes a imóveis existentes e recém-constituídos que já tiveram uma DCR e 96.000 encontram-se em fase de projecto. [47]

A classe energética predominante na certificação de projectos de edifícios (DCR) e de edifícios construídos recentemente (isto é, cuja data de entrada do pedido de licenciamento ou de autorização de edificação é posterior a 1 de Julho de 2008, data de entrada do SCE) é a classe A. Em edifícios existentes para efeitos da aplicação da SCE (edifícios cuja data de entrada do pedido de licenciamento ou de autorização de edificação é anterior a 1 de Julho de 2008) a classe energética predominante é a classe C, como ilustra a Figura 2.21. [46] [47]

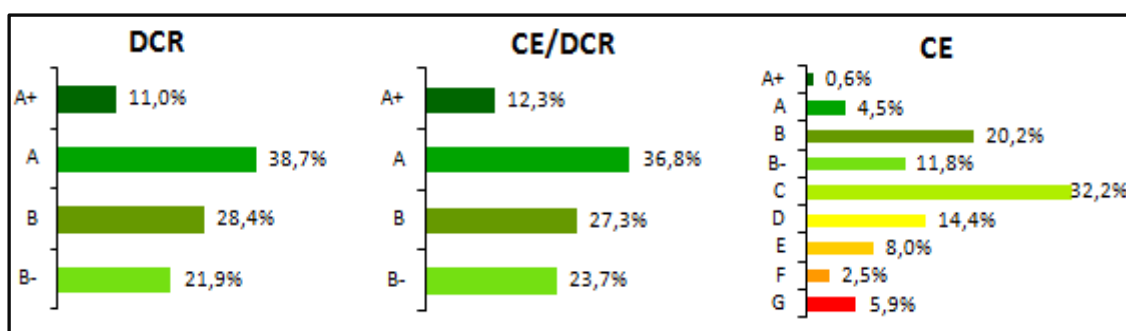


Figura 2.21- Análise do parque edificado consoante o certificado energético [47]

A análise da Figura 2.21 permite concluir que os projectos dos novos edifícios construídos após a entrada em vigor do SCE, são bastante mais eficientes do ponto de vista energético, que os edifícios construídos até à entrada em vigor do SCE. É, também, possível concluir, pela análise dos DCR, que na fase de projecto já se está a apontar para um desempenho mais elevado, A e A+. [74]

Analisando a classe energética de todos os certificados emitidos, verifica-se que cerca de 60% dos edifícios certificados estão abaixo da classe B-. A ADENE efectuou uma simulação em que todas as medidas que estão propostas nos CE's seriam implementadas e verificou que 85% dos imóveis

passariam para a classe B⁻ ou superior, isto é estariam acima do limite mínimo para edifícios novos, como é visível na Figura 2.22. [48]

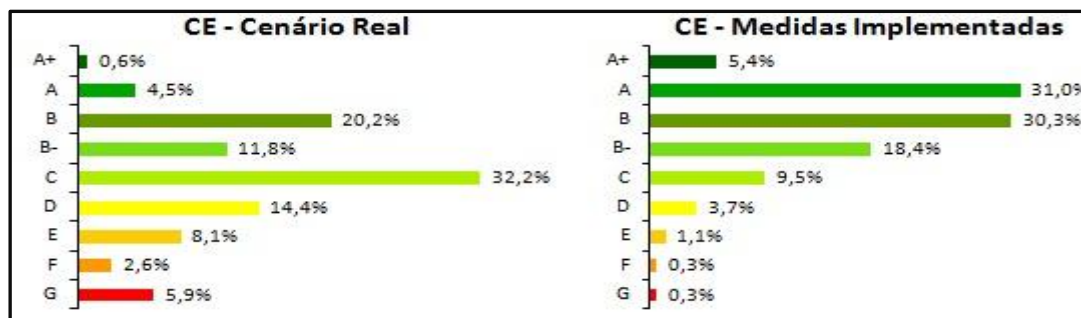


Figura 2.22- Classe energética real e classe energética com medidas implementadas [48]

Segundo a ADENE 66,6% das medidas de melhoria propostas nos CE's incidem sobre AQS, Climatização e Energia Solar Térmica. O investimento médio na optimização de comportamento energético de um edifício, varia entre 1.250€ e 6.500€, sendo que o período médio de retorno varia entre 6 a 11 anos. Por edifício o potencial de poupança energética é de 0,4 tep/ano, isto é aproximadamente 46 €/ano. [48]

Não existe mínimo de classe energética para os edifícios existentes, no entanto, para edifícios novos a classe energética não pode ser inferior a B⁻.

Os regulamentos decorrentes da aplicação do SCE são o RSECE e o RCCTE.

2.4.2 RSECE

O RSECE (Decreto-Lei 79/2006) define um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização. Para além dos aspectos relacionados com a qualidade da envolvente e a limitação dos consumos energéticos, são também abordados aspectos relacionados com eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, através da realização de auditorias periódicas obrigatórias aos edifícios de serviços. Os requisitos legais definidos pelo RSECE aplicam-se na fase de obtenção de licença ou autorização de construção e na fase de obtenção de licença ou autorização de utilização durante o funcionamento normal do edifício mediante a realização de auditorias periódicas consoante a tipologia do edifício. [39]

O RSECE tem como objectivo estabelecer requisitos regulamentares relativos a: [39][49]

- Garantir o conforto térmico e da qualidade do ar interior;
- Limites de potência a instalar em todo o edifício e em especial nos equipamentos de climatização;
- Eficiência dos sistemas energéticos e utilização de soluções de uso racional de energia;

- Plano de manutenção e inspecções periódicas a equipamentos de climatização;
- Auditorias periódicas aos consumos energéticos e à qualidade do ar interior aos grandes edifícios de serviços;
- Recurso a sistemas de climatização que utilizem fontes de energia renováveis;
- Formação profissional a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto; instalação e manutenção dos equipamentos de climatização;
- Taxa de renovação do ar interior e concentração máxima dos principais poluentes.

São abrangidos pelo RSECE: [39]

- Edifícios de habitação (novos ou grandes reabilitações) com sistemas de climatização com potência superior a 25 Kw;
- Grandes edifícios de serviços (novos ou grandes reabilitações) com áreas úteis superiores a 1000 m², com excepção dos centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas cobertas em que o limite é 500 m²;
- Pequenos edifícios de serviços (novos ou grandes reabilitações) com sistemas de climatização igual ou superior a 25 Kw, com área útil inferior a 1000 m² (no caso de centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas cobertas aquecidas);
- Os novos sistemas de climatização com mais de 25 Kw de potência instalada aplicados em qualquer tipologia de edifícios (novos, grandes reabilitações e existentes).

2.4.3 RCCTE

O RCCTE (Decreto-Lei 80/2006) define um conjunto de requisitos para a construção de edifícios, ao nível das características da envolvente (envidraçados, paredes, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este tem como objectivos principais garantir que as exigências de conforto térmico, ventilação e produção de AQS são satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia, assim como reduzir o risco de ocorrência de situações patológicas nos elementos de construção diminuindo o potencial impacte negativo que essas patologias possam provocar na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior. [39][50][51]

O RCCTE impõe limites aos consumos energéticos para climatização e para produção AQS, num evidente incentivo à utilização de sistemas eficientes de fontes energéticas [39]

Os requisitos regulamentares definidos pelo RCCTE são referentes a: [39]

- Características da envolvente (coeficientes transmissão térmica, pontes térmicas planas, factor solar dos vãos envidraçados);

- Limites de necessidades energéticas (aquecimento, arrefecimento, AQS) convertidas para energia primária;
- Colectores solares térmicos obrigatórios (sempre que haja a exposição solar adequada);
- 0,6 renovações de ar por hora.

São abrangidos pelo RCCTE: [39]

- Edifícios de habitação (novos ou grandes reabilitações) sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de climatização com potência igual ou inferior a 25Kw;
- Pequenos edifícios de serviços sem climatização, com área igual ou inferior a 1000 m², que não disponham de sistemas de climatização ou que disponham de sistemas de climatização com potência igual ou inferior a 25 Kw;
- Edifícios de habitação e serviços já existentes que sofram grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias;
- Edifícios já existentes que sofram ampliações exclusivamente na nova área construída.

O conforto térmico das habitações tem vindo a ganhar importância ao longo dos anos, em especial depois da implementação do primeiro RCCTE, em 1991. Este facto é facilmente perceptível ao analisar as Figuras 2.23 e 2.24, resultantes do estudo EcoFamílias, realizado pela Quercus. No universo analisado por este estudo foi possível concluir que desde 1991 se têm utilizado isolantes térmicos em muito maior quantidade do que até à data se verificava, como é visível na Figura 2.23. É também possível verificar que se passaram a utilizar soluções construtivas com isolante térmico que até 1991 não se utilizavam. [29]

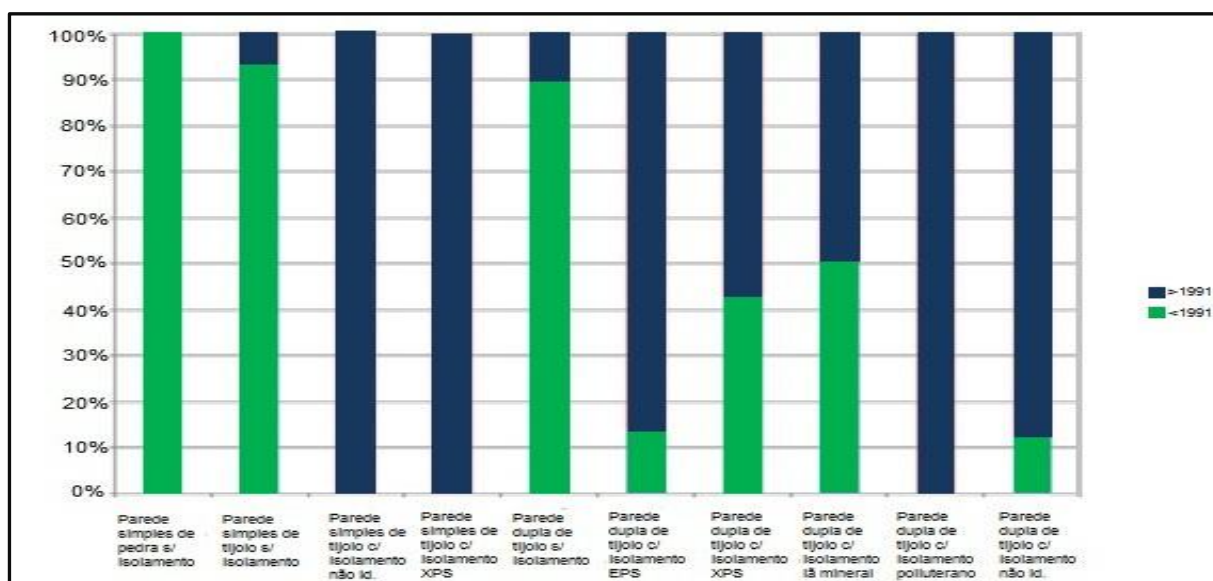


Figura 2.23 - Tipo de parede exterior por ano de construção das habitações [29]

Verifica-se também, através da análise da Figura 2.24, uma clara melhoria nos elementos envidraçados, após a entrada em vigor do primeiro RCCTE em Portugal. Tornou-se comum a utilização de vidros duplo em janelas, em detrimento da utilização de vidro simples. [29]

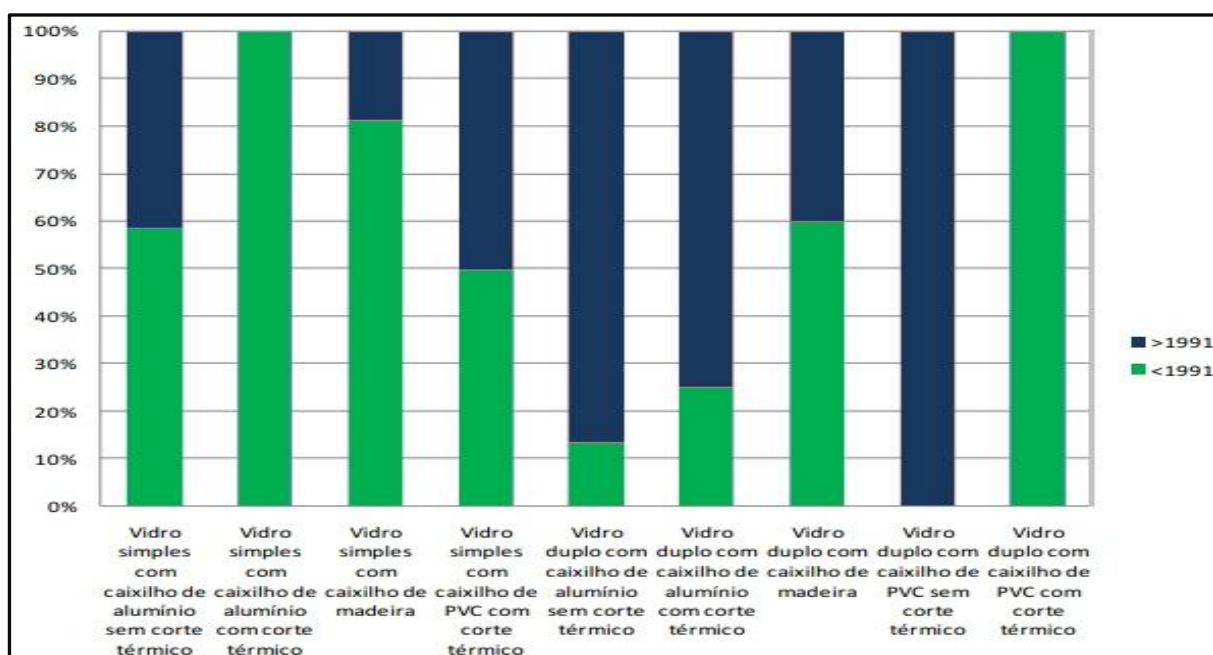


Figura 2.24 - Tipo de envidraçados por ano de construção das habitações [29]

2.4.4 Directiva Europeia 2010/31

A CE reconheceu no seu Plano de Acção de Energia 2011-2020, o incumprimento parcial de alguns estados membros da Directiva 2002/91/CE, o que fez com que esta tivesse de ser revista e substituída pela Directiva Europeia EPBD 2010/31 UE até ao final de 2012. [45]

A publicação da nova EPBD foi aprovada no final de 2009 e vem trazer novas exigências adicionais às que já estão implementadas em Portugal no âmbito dos Decretos-lei 78 a 80, das quais se destacam: [52][53]

- Melhorar significativamente os requisitos mínimos para a envolvente de edifícios, numa perspectiva de custo óptimo durante o ciclo de vida, nos edifícios novos e em todas as reabilitações;
- Serão abrangidas pela SCE todas as reabilitações de edifícios independentemente do seu tamanho, abolindo progressivamente até 2020, o limite de 1000 m² para a aplicação dos regulamentos em casos de grandes reabilitações;

- A obrigatoriedade de, em 2020, todos os novos edifícios apresentarem um balanço energético próximo do zero;
- Aceleração da integração de energias renováveis;
- Obrigação a que todos os anúncios para venda ou arrendamento de imóveis indiquem a respectiva classe de desempenho energético;
- A atribuição de uma maior responsabilidade ao sector público, que deve servir de exemplo na aplicação dos regulamento (a partir de 2018 todos os edifícios que venham a ser ocupados por entidades públicas terão de ter necessidades energéticas quase nulas);
- A afixação dos Certificados em edifícios públicos deve ser visível (a partir de 2012 para edifícios com $A > 500 \text{ m}^2$ de área útil, a partir de 2015 para edifícios com $A > 250 \text{ m}^2$ de área útil).

A nova EPBD tem como objectivos principais alterar a forma de concepção dos edifícios e a mudança de hábitos de consumo de energia em edifícios. Estas alterações têm por bases a concepção de envolventes termicamente mais eficientes, a utilização de equipamentos mais eficientes e o recurso à utilização de energias renováveis. [53]

A contribuição da certificação energética para o aumento da eficiência energética tem sido, é e será fundamental.

Os novos padrões de conforto nas habitações, os excessivos consumos de recursos energéticos e naturais que a utilização e construção de edifícios têm provocado e as preocupações inerentes ao impacto que estas atitudes têm provocado no meio ambiente tornam evidente que é necessário proceder a mudanças no ciclo de vida dos edifícios. A eficiente gestão dos recursos terá de ter por base a eficiência energética.

A insustentabilidade dos consumos energéticos, tem obrigatoriamente de ser invertida.

2.5 Construção sustentável como veículo para a melhoria da situação actual

2.5.1 Enquadramento

A construção de edifícios e a sua utilização são das actividades humanas com mais impacto no meio ambiente. Esse impacto está ligado, sobretudo, ao excessivo consumo de recursos naturais (50% dos recursos extraídos), à produção de gases com efeito de estufa (35% das emissões de GEE's devem-se à iluminação e aquecimento de edifícios) e à grande quantidade de resíduos gerados (mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos). Por outro lado as alterações climáticas que se têm registado associadas aos sofisticados padrões de conforto actuais reflectir-se-ão no aumento do consumo energético dos edifícios. [28]

É, portanto, necessário adoptar medidas que visem a diminuição do consumo de recursos na construção e utilização dos edifícios, de forma a minimizar o impacto estas têm no meio ambiente.

A abordagem deste tema têm grande importância no estudo que é feito, na medida em que é principal objectivo deste trabalho identificar possíveis melhorias nos edifícios existentes de modo a promover o aumento do nível de eficiência energética dos mesmos, minimizando deste modo o consumo de recursos.

A consciencialização de que as políticas levadas a cabo pelo Homem, nas suas práticas de desenvolvimento estavam a degradar de forma irreversível o meio ambiente surgiu no final da década de 70.

No entanto, só em 1987, com o objectivo de estabelecer uma política ambiental reguladora do crescimento económico e protectora do ambiente, foi publicado pela Comissão para o Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas o relatório de *Brundtland*. [54]

No relatório de *Brundtland* é definido o conceito de desenvolvimento sustentável como: "O desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem resposta às delas". [54]

Em 1992, com o objectivo de promover a regeneração ambiental, o desenvolvimento económico e a coesão social, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a Conferência Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, na qual foi estabelecido um programa global que envolveu 118 países, intitulado *Agenda 21*. Este programa continha recomendações que deveriam ser implementadas até ao início do século XXI, ao nível global, nacional e local. [54]

No seguimento desta medida, foi criada em 1996, a *Agenda Habitat II*, na Conferência das Nações Unidas, em Istambul. Esta agenda tinha como objectivos o desenvolvimento sustentável dos aglomerados urbanos e o direito a um abrigo adequado para todos os cidadãos. Foi também estipulado nesta agenda que os governos locais deveriam apresentar à indústria acções relativas ao planeamento, concepção, construção, manutenção, reabilitação de edifícios e produção de materiais, de forma a encorajar a prática de procedimentos sustentáveis. [54]

Em 1999 foi criada a Agenda 21 sobre Construção Sustentável, pela CIB. Segundo esta agenda, os maiores desafios no sector da construção civil eram: [54]

- Promoção da eficiência energética;
- Redução do uso e consumo de água potável;
- Selecção de materiais com base no seu desempenho ambiental;
- Contribuição para um desenvolvimento urbano sustentável.

Com a assinatura do Protocolo de Quioto, em 1997, vários países industrializados, incluindo Portugal, comprometeram-se a reduzir, entre 2008 e 2012, as suas emissões de gases que provocam o efeito de estufa, em pelo menos 8%, em relação aos níveis de 1990. [54]

Em Portugal, o grande aumento que se verificou em obras de construção nova, nas últimas décadas, não se reflectiu no aumento das preocupações ambientais, nem na procura de eficiência energética e de materiais mais eficientes. Estas práticas tiveram como principais consequências a nível ambiental: [3][54]

- O consumo de enormes quantidades de materiais, matérias-primas e energia;
- O crescimento urbano excessivo e desordenado;
- A falta de qualidade generalizada do parque edificado relativamente a condições de conforto higrotérmico e ambiental;
- Pressão construtiva exagerada sobre a orla costeira;
- A produção de enormes quantidades de resíduos de demolição e de GEE's;
- O facto de os edifícios construídos até então apenas terem a capacidade de se focarem numa questão ambiental isoladamente e não numa perspectiva geral.

Em função das repercussões que estas práticas estavam a ter no meio ambiente tornou-se necessário que o sector da construção sofresse uma reorientação estratégica que permitisse minimizar o impacto dos edifícios, tanto no meio ambiental como social onde este se insere.

A solução para atenuar o impacto negativo que a construção tem no meio ambiente e na sociedade em geral, passa pela implementação de um processo operativo que promova o desenvolvimento sustentável, esse processo é a Construção Sustentável.

2.5.2 Conceito de Construção Sustentável

A construção sustentável foi definida na 1ª Conferência Mundial sobre Construção Sustentável, em 1994 por Charles Kibert, como: "A criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos". [54]

No processo de construção sustentável, a concepção, a construção, a operação e a desactivação são desenvolvidos de um modo ecológico, promovendo a eficiência de recursos. Este processo é suportado por seis princípios base: [55]

- Redução dos consumos de energia;
- Redução dos consumos de água;
- Preferência por materiais e produtos de construção ecológicos;

- Redução, reutilização e reciclagem dos resíduos da construção;
- Promoção da correcta utilização e manutenção das construções;
- Garantir a durabilidade da construção.

A construção sustentável apela a que seja implementado um novo paradigma na construção. Esse paradigma deixa de considerar apenas factores como a qualidade, o custo e o tempo na construção, para incluir também preocupações relacionadas com o consumo dos recursos, as emissões de poluentes e a saúde. São também consideradas as consequências do processo construtivo para a biodiversidade, qualidade do ambiente construído, equidade social e herança cultural, como é observável na Figura 2.25. [54]

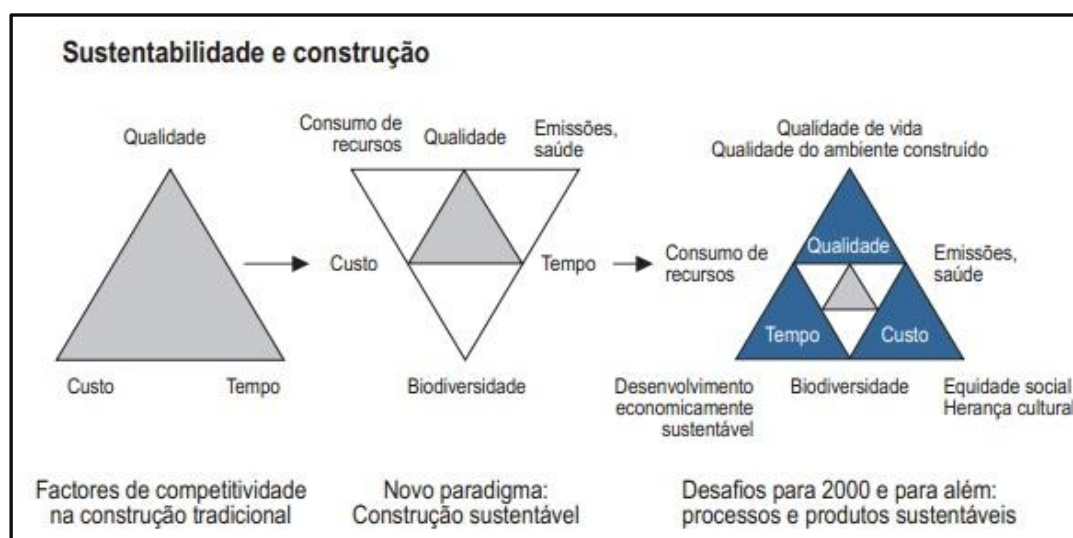


Figura 2.25 - Evolução das preocupações no sector da construção civil [54]

Esta alteração no paradigma na construção tem como principais vantagens a contribuição da construção para a qualidade de vida das populações, através do aumento de conforto ambiental no interior dos edifícios, assim como a minimização dos impactos sobre o meio ambiente, recursos naturais, e consumo energético. [55]

2.5.3 Metodologia de implementação da construção sustentável

O processo de construção sustentável deve ser implementado adoptando métodos de acção passiva, processos construtivos rigorosos e detalhados, materiais renováveis e deve ser executada sob uma eficiente avaliação e monitorização. Este processo deve ser aplicado desde a fase de extracção, transformação e transporte das matérias-primas até às diferentes fases que integram o ciclo de vida do edifício (projecto, construção, operação e desactivação). [54]

Tal como é representado na Figura 2.26, o processo operativo da construção sustentável deve ser implementado, ao longo ciclo de vida de um edifício através de uma abordagem integrada em todas as fases que o compõem.

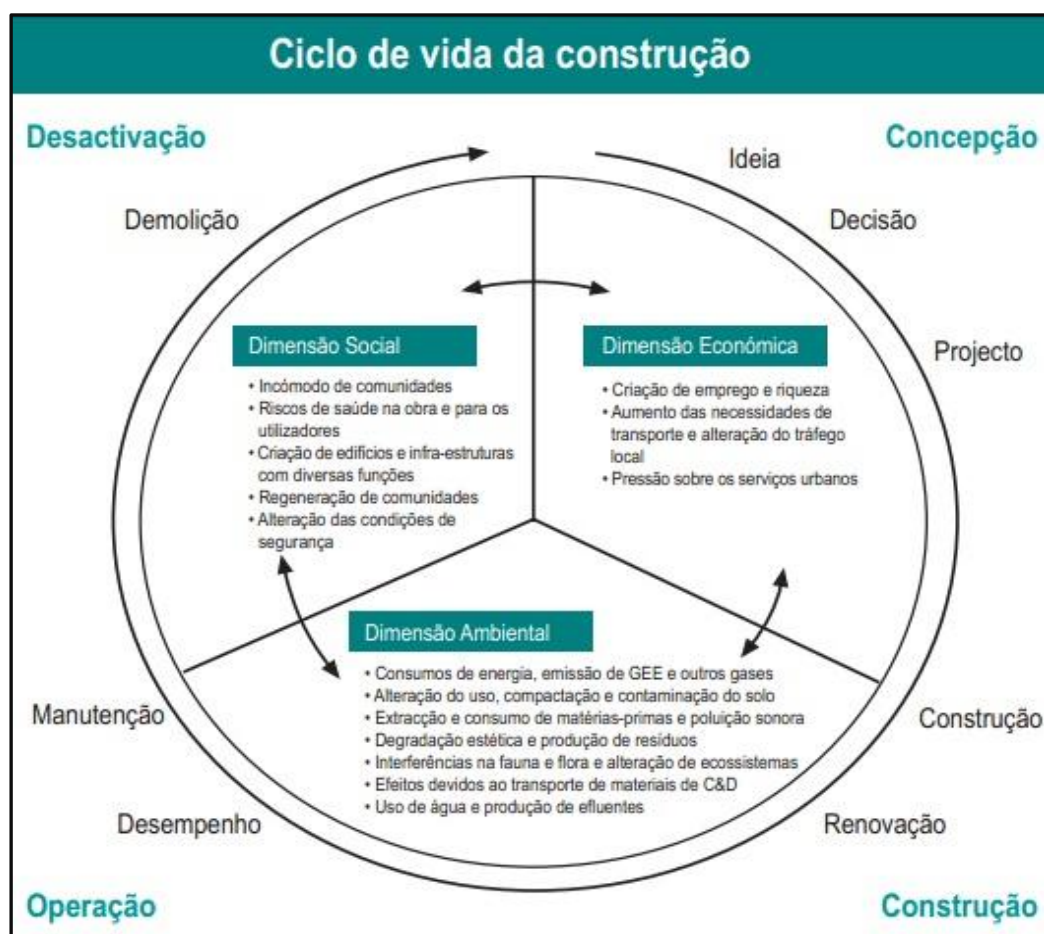


Figura 2.26 - Impactes Ambientais no ciclo de actividades da construção [54]

Os impactes dos edifícios no consumo de recursos naturais, nas emissões e na produção de resíduos reflectem-se de diferentes formas ao longo das fases do ciclo de vida do edifício desde a concepção até á desactivação.

Concepção

Na fase de concepção é necessário fazer um levantamento das condições necessárias para a implementação do edifício. É nesta fase que são tomadas as decisões relativamente ao local e forma de implementação, aos materiais a utilizar, às necessidades funcionais (energéticas, hídricas, de iluminação, entre outras). As decisões que se tomarem na fase de concepção repercutir-se-ão ao longo do ciclo de vida do edifício não só em consumo de recursos mas também no conforto dos ocupantes. Os impactes ambientais efectivos nesta fase são bastante reduzidos. [54]

Construção

A importância dos princípios da construção sustentável, na fase de construção está associada, essencialmente, à forma como se desenvolve o processo construtivo e às repercussões que este tem no consumo de recursos. É na fase de construção que grande parte dos materiais é utilizada. Os resíduos e materiais não aproveitados deverão ser reutilizados, para que o impacto ambiental desta fase seja minimizado. [54]

Esta fase do processo construtivo está também associada ao excessivo consumo de energia resultante da utilização de equipamentos e do transporte de materiais, o que se repercute ainda na elevada emissão de gases poluentes.

Outro importante impacto ambiental que a fase de construção pode provocar é a criação de grandes áreas impermeabilizadas, o que pode originar a escorrência superficial, aumentando deste modo o risco de cheias. [56]

A construção é uma das fases que maiores impactos ambientais provoca, num curto espaço de tempo.

Operação

A fase de operação engloba a utilização do edifício e a sua manutenção. Os consumos de recursos (energia, água, materiais) nesta fase, apesar de lentos, são bastante significativos. Os materiais não aproveitados na utilização e manutenção do edifício dão origem a resíduos que deverão ser tratados, sempre que possível com vista à sua reutilização. [54]

A produção de emissões provenientes de equipamentos de climatização e sistemas de isolamento poderão criar riscos de saúde para os utilizadores.

Do ponto de vista dos impactos ambientais indirectos são associados a esta fase o aumento das necessidades de transporte e a alteração ao tráfego local. Esta fase é responsável por impactos ambientais mais significativos do que a fase de construção. [54]

Desactivação

A fase da desactivação é composta pelas actividades de desconstrução (substituição) ou demolição. O impacto ambiental mais relevante na desactivação é a produção de resíduos. No entanto, esta depende da forma como a intervenção é efectuada, isto é, se existe a perspectiva de reutilização ou reciclagem dos resíduos. Os impactos do ponto de vista energético e das emissões (ruído e vibrações) também são significativos e devem por isso ser minimizados. [54]

No Quadro 2.8 são apresentadas algumas medidas possíveis de implementar ao longo do processo de construção sustentável, por fases de intervenção. [55]

Quadro 2.8 – Medidas de intervenção no processo da construção sustentável [55]

Fases de Intervenção	Medidas de Intervenção
Concepção	Aproveitamento da radiação solar; Aproveitamento da pluviosidade; Aproveitamento dos ventos predominantes; Optimização da orientação e dimensão de vãos envidraçados; Optimização da geometria de forma; Eficiência energética na utilização futura; Recurso a sistema de sombreamentos passivos e activos; Utilização da ventilação natural para arrefecimento e renovação do ar; Recurso a espécies vegetais para protecção de vento e pluviosidade; Recurso a sistemas de aproveitamento de águas pluviais; Implementação de sistemas passivos de energia; Avaliação de conforto ambiental estimado; Avaliação do ciclo de vida da construção; Avaliação por simulador das soluções construtivas;
Construção	Postura ambiental; Procedimentos e rotinas sustentáveis; Recurso a isolamento térmico e acústico exterior; Seleção de eco materiais e ecoprodutos; Recurso a sistemas autónomos de admissão de ar; Estudo e avaliação das alternativas de execução; Seleção dos materiais superficiais exteriores de acordo com as características acústicas; Redução dos resíduos e impactos; Segurança, higiene e saúde no trabalho;
Operação	Manual de utilização e manutenção de edifícios; Listagem de materiais, produtos e fornecedores; Regulação dos sistemas de protecção solar; Regulação da ventilação natural; Monitorização ao nível da eficiência Controlo do uso dos espaços;
Desactivação	Manual de procedimentos; Listagem de materiais e produtos reutilizáveis e recicláveis; Listagem de resíduos a eliminar.

É importante que todo o processo seja monitorizado de modo a elaborar um critério das medidas a implementar e a controlar e avaliar a eficiência do processo ao longo de todas as fases para que os erros ou resultados indesejados ao longo do processo de implementação possam ser corrigidos. [55]

2.5.4 Soluções Construtivas Sustentáveis

O crescente aumento do consumo de recursos naturais, ao longo do ciclo de vida dos edifícios, associado à crescente escassez deste recursos torna a situação actual insustentável. Um importante

contributo para inverter esta insustentabilidade pode ser dado pela adopção de soluções construtivas que optimizem o consumo de recursos naturais utilizados, ao longo do ciclo de vida do edifício.

O aproveitamento da radiação solar através de sistemas solares passivos e o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis são exemplos de acções que contribuem para a diminuição do consumo de recursos e que podem ser implementadas tanto em edifícios novos como nos existentes.

2.5.4.1 Sistemas solares passivos

Na fase de concepção de um edifício é, como já foi referido, bastante importante que se tenha especial atenção ao local onde o edifício se insere, de forma a que se consigam optimizar as condições de conforto (térmico, luminoso, etc.) da habitação, tirando o máximo proveito das características climáticas do local, minimizando desta forma o consumo energético.

Os sistemas solares passivos podem contribuir para o aquecimento ou para o arrefecimento natural do edifício.

Se o objectivo da implementação destes sistemas for o aquecimento natural o princípio de funcionamento do sistema passa por optimizar a captação da radiação solar no Inverno pelos vãos envidraçados, que ao penetrar no interior do compartimento é “armazenada” na massa térmica dos elementos opacos ou em elementos com grande massa térmica que permitam armazenar o calor, de forma a que quando a temperatura interior baixar este seja libertado naturalmente para o interior do espaço.

Estes dispositivos são denominados de sistemas de aquecimento passivo e podem-se classificar da seguinte forma: [57]

- **Ganho Directo** - Se o espaço a aquecer dispõe de vãos envidraçados que permitam a incidência da radiação solar no espaço interior e nas massas térmicas envolventes;
- **Ganho Indirecto** - Se a massa térmica do elemento construtivo de armazenamento de calor é interposta entre a superfície de ganho solar e o interior do compartimento;
- **Ganho Isolado** - Se a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia solar captada se encontrarem em locais independentes do edifício.

A radiação solar e a temperatura exterior são as variáveis climáticas que mais influenciam a transferência de calor. Esta transferência de calor dá-se sempre no sentido do equilíbrio térmico, isto é, do local mais quente para o local mais frio, na tentativa de ambos os locais ficarem com a mesma temperatura. Assim na estação de aquecimento o fluxo de calor desloca-se do interior da habitação para o exterior (perdas térmicas), enquanto na estação de arrefecimento o sentido do fluxo de calor é do exterior para o interior (ganhos térmicos).

A radiação solar que atinge a superfície terrestre é composta pela radiação directa, pela radiação difusa resultante das múltiplas reflexões nas partículas em suspensão na atmosfera e pela radiação reflectida que depende do tipo de materiais e rugosidade que compõem a superfície do edifício onde a radiação incide. [32]

A radiação solar tem um papel fundamental na transferência de calor, que se reflecte no conforto térmico dos edifícios. Na estação de aquecimento a radiação solar constitui uma fonte de calor importante para o aquecimento do espaço interior, no entanto na estação de arrefecimento a radiação é uma fonte de calor que se deve evitar pois, tal como se referiu no ponto 2.3.4.1, pode provocar o sobreaquecimento do interior. [57]

O posicionamento do sol relativamente a um local varia ao longo do ano, o que tem influencia na localização das fachadas envidraçadas num edifício, na sua dimensão e no tipo de vidro que se escolhe. Na Figura 2.27 é possível perceber qual é o posicionamento do sol, relativamente às fachadas em Portugal consoante a estação do ano. [57]

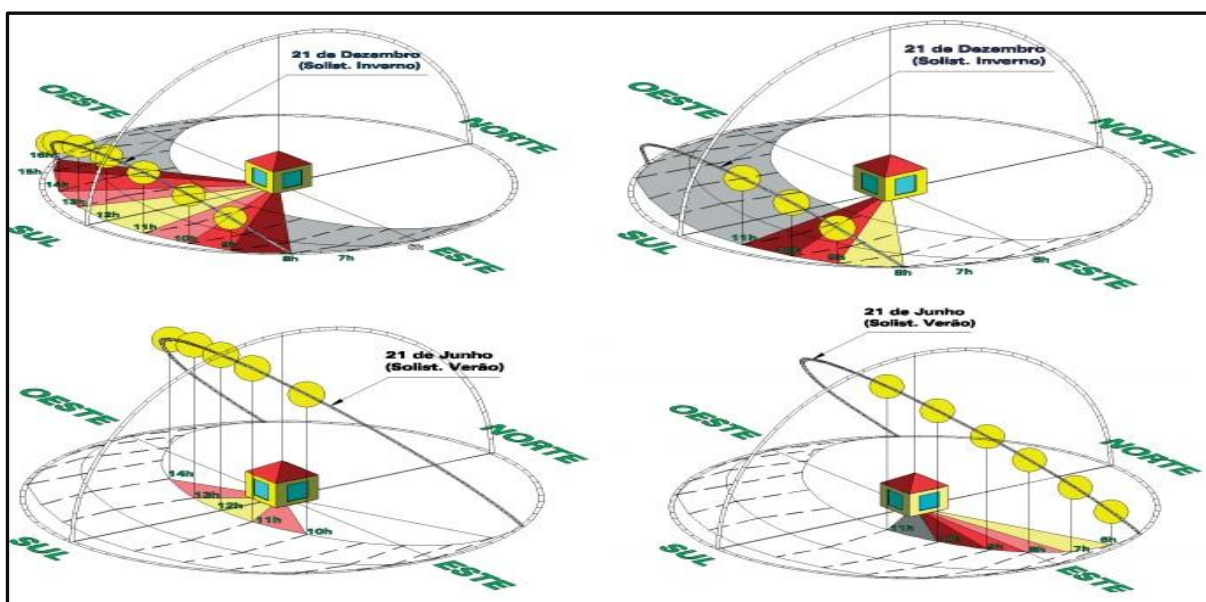


Figura 2.27 - Posicionamento do sol em Portugal, em função da estação do ano [57]

Da análise da Figura 2.27 conclui-se que: [57]

- No Inverno a fachada localizada a Sul recebe mais ganhos solares dever-se-á, portanto, potencializar a captação da radiação solar nesta fachada através da existência de vãos envidraçados (com as dimensões referidas no Quadro 2.7). As fachadas Este e Oeste recebem pouca radiação, porque o sol nasce próximo da orientação Sudeste e põe-se na orientação Sudoeste, logo a radiação solar incide poucas horas nesta fachada e com um pequeno ângulo de incidência. A fachada Norte como não recebe radiação directa é a mais

fria, portanto a dever-se-à reduzir a área dos vãos nesta fachada e utilizar vidros com bom comportamento térmico pois é a fachada onde vão ocorrer mais perdas de calor;

- No Verão a incidência de radiação solar atinge a fachada Sul com menor intensidade porque o ângulo de incidência da radiação com o plano horizontal é maior. No entanto é importante minimizar os ganhos solares pelo vão envidraçado a Sul com uma pala sombreadora sobre o vidro para que não exista sobreaquecimento e se garantam boas condições de iluminação (evitando o encadeamento). As fachadas a Este e a Oeste recebem radiação solar durante muitas horas e a radiação é perpendicular à fachada, portanto se esta fachada tiver vãos envidraçados dever-se-ão utilizar sombreamentos. Como a fachada Norte não recebe muita radiação solar, não existem grandes preocupações com os ganhos solares.

2.5.4.2 Reutilização de águas pluviais

O sector habitacional é um dos sectores que mais volume de água consome, sendo que grande parte desse consumo ocorre na fase da operação. O consumo de água potável para fins não potáveis é, como já foi referido anteriormente, de cerca de 46%. Este valor é demonstrativo do desperdício de água potável e, consequentemente, da sua contribuição para a insustentabilidade do consumo de água actual.

A reutilização de águas pluviais é uma medida que pode contribuir significativamente para a diminuição do consumo de água potável para fins não potáveis. Neste processo a água pluvial é recolha, armazenada e posteriormente utilizada.

A água pluvial é considerada como não potável, no entanto, pode ser usada nas seguintes actividades: [37]

- Rega, lavagem de automóveis ou exteriores;
- Descargas do autoclismo;
- Lavagem de roupa;
- Redes de incêndio;
- Enchimento de piscinas.

Os volumes de águas pluviais captados podem atingir 50% do consumo de água potável para fins domésticos e sanitários em edifícios. No entanto, este consumo depende dos volumes de pluviosidade passíveis de captação, que varia consoante a zona do país onde o edifício se encontra, do tipo de cobertura e do tipo de edifício. [37]

Em Portugal, o padrão de edifícios onde o potencial de aproveitamento de águas pluviais teoricamente é maior é constituído por vivendas unifamiliares, na zona Norte do País. Neste tipo de

edifícios, caso os reservatórios de captação de águas pluviais sejam bem dimensionados é possível reduzir os consumos dos autoclismos, máquinas de lavar roupa e usos exteriores em cerca de 100%. [37]

O aproveitamento das águas pluviais tem, para além da economia de consumo já referida, outras vantagens, designadamente, na redução de águas drenada com necessidade de tratamento, na diminuição da quantidade de água perdida na rede de abastecimento e o contributo para o controlo de inundações. As desvantagens deste tipo de soluções relacionam-se com o investimento inicial, com a dependência de factores meteorológicos e com os efeitos nocivos que a qualidade da água possa provocar nos habitantes e nos equipamentos, caso esta não seja adequadamente tratada. [58]

2.5.6 Sistemas de Certificação da Construção Sustentável

Como forma de garantir a aplicação dos princípios da construção sustentável devem ser implementados, em cada país, sistemas de certificação da construção sustentável.

Estes sistemas têm como objectivo avaliar os parâmetros que se enquadram no desenvolvimento sustentável e que irão servir de base de decisão nos processos a adoptar, ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Deste modo é possível implementar uma metodologia que oriente a concepção de edifícios com base nos princípios do desenvolvimento sustentável.

A avaliação e certificação da sustentabilidade na construção deve ser feita de acordo com a realidade de cada país, o que originou que vários países tivessem criado o seu próprio sistema. Em Portugal o sistema adoptado é o LiderA (liderar pelo ambiente), a nível internacional destacam-se o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), no Reino Unido e o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), nos Estados Unidos.

2.5.6.1 LiderA

É o sistema voluntário de certificação ambiental utilizado em Portugal. Este sistema foi desenvolvido em 2005, com a finalidade de criar um sistema de certificação da sustentabilidade da construção adaptado ao contexto sócio-económico e climático de Portugal. As principais linhas de actuação do LíderA são: [54]

- Apoiar o desenvolvimento de planos e projectos que procurem a sustentabilidade;
- Avaliar e posicionar o desempenho dos edifícios na fase de concepção, construção e operação, quanto à procura da sustentabilidade;
- Suportar a gestão na fase de construção e operação;

- Atribuir a certificação por marca registada, através de verificação por uma avaliação independente;
- Servir como instrumento de mercado distintivo para os empreendimentos e clientes que valorizem a sustentabilidade.

A análise de critérios pré-definidos permite avaliar o nível de desempenho das soluções construtivas, e deste modo estimar o nível de sustentabilidade das mesmas. Se o desempenho comprovado pela verificação do LiderA atingir uma avaliação final da sustentabilidade das classes C, B, A, A+ ou A++, são certificáveis como bom nível de sustentabilidade o edificado ou os ambientes construídos. [54]

2.5.6.2 BREEAM

O sistema BREEAM foi desenvolvido no Reino Unido no início da década de 90 e foi o primeiro método de avaliação do desempenho ambiental de edifícios a ser concebido. [54]

Os objectivos principais do BREEAM consistem em encorajar a implementação de melhores práticas ambientais em todas as fases do ciclo de vida dos edifícios, assim com em distinguir os edifícios com reduzido impacte ambiental. [54]

A metodologia da avaliação do sistema BREEAM é feita com base na atribuição de créditos ao edifício sempre que se verifique que determinados requisitos, organizados em categorias, são cumpridos. Às categorias em causa são atribuídos pesos específicos, de acordo com a relevância determinada pelo sistema para a tipologia do edifício em causa. A conjugação dos créditos e pesos das categorias permite obter um índice de desempenho ambiental do edifício. [54]

Este sistema de avaliação não se restringe apenas à avaliação de edifícios de habitação, podem ser também avaliados edifícios de escritórios, unidades industriais, edifícios comerciais, escolas, hospitais, prisões e outras tipologias. [54]

A aplicabilidade deste sistema a nível nacional revelou-se possível, na maioria dos critérios, embora exista uma necessidade de ajustamento nos valores de desempenho à realidade nacional (nas exigências da água, na importância dada à madeira, nas condições de isolamento acústico e de iluminação, entre outras). [54]

2.5.6.3 LEED

O sistema de avaliação do desempenho ambiental da construção LEED foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, com o objectivo principal de promover os conceitos da construção sustentável na indústria da construção americana.

O sistema LEED é considerado um processo aberto e transparente, porque todos os critérios técnicos de avaliação de desempenho propostos são ampla e publicamente revistos. [59]

A estrutura e conceitos do sistema LEED são influenciados pelo sistema BREEAM, o que se reflecte no método de análise do potencial de eficiência ambiental com base numa lista de pré-requisitos, assim como nas versões do sistema LEED com usos específicos de edifícios (construções novas, edifícios comerciais, projectos de renovação, operação e manutenção de edifícios existentes, espaços comerciais interiores, construção de elementos dos edifícios). [54]

Cada uma das categorias é constituída por indicadores de desempenho que no final da avaliação permitem atribuir uma classificação ao edifício que se está a avaliar. Ao contrário de outros sistemas de avaliação, no LEED não existem diferentes ponderações ou pesos atribuídos às categorias e critérios de avaliação. [59]

As aplicações nacionais do LEED efectuadas ao nível de teste, revelaram que para haver aplicabilidade à realidade nacional deveriam ser equacionadas alterações pontuais, quer nos critérios, quer nas ponderações das categorias, devendo estas ser sujeitas a ajustamentos, nomeadamente dando uma maior importância às questões da água e diminuindo ligeiramente a ponderação existente no que se refere à qualidade do ar interior. [54]

Ao longo dos últimos anos as preocupações ambientais relativas à construção e à utilização dos edifícios, têm vindo a ganhar relevo quer no sector da construção, quer na sociedade civil. Os processos de construção sustentável passaram a ser uma prioridade no ciclo de vida dos edifícios e não uma mais-valia adicional. Hoje, caminha-se para uma mudança de paradigma na construção, em que o consumo de recursos e o seu impacto na saúde das pessoas e no meio ambiente têm um valor crescente. Neste contexto, é bastante importante que se desenvolvam novas soluções construtivas que permitam diminuir o consumo de recursos em todas as fases do ciclo de vida de um edifício com óbvios benefícios para os habitantes e para o meio ambiente.

2.6 Soluções construtivas mais comuns nos edifícios construídos

2.6.1 Enquadramento

Ao longo da investigação realizada foi possível concluir que um dos maiores problemas do parque habitacional português é o deficiente desempenho térmico da envolvente exterior dos edifícios, o que se reflecte na eficiência energética e consequentemente nos custos e impacte ambiental do edifício.

Face às actuais exigências de conforto higrotérmico e ao aumento das preocupações com o excessivo consumo de recursos e com estado de conservação dos edifícios é fundamental conhecer os sistemas construtivos mais usuais do parque edificado português para que se perceba quais as suas

principais vantagens e desvantagens, de modo a que as soluções construtivas possam contribuir para melhorar essas exigências e diminuir as citadas preocupações.

A evolução da morfologia da envolvente exterior dos edifícios tem contribuído para a optimização do seu desempenho térmico e, conseqüentemente, energético.

Nos edifícios anteriores ao século XX, os sistemas construtivos mais comuns em Portugal eram predominantemente mistos (essencialmente constituídos por alvenaria de pedra e cal). Devido à inexistência de meios de transporte eficientes os sistemas construtivos estavam dependentes da disponibilidade local das matérias-primas. As paredes exteriores eram caracterizadas por terem grande espessura, o que lhes conferia uma inércia térmica bastante forte.[61]

Como é possível observar na Figura 2.28, até ao final dos anos 40, era usual que as paredes de alvenaria fossem de pedra ou de tijolo maciço. Nos anos 50 as paredes começaram a ser constituídas por um pano exterior de pedra ou tijolo maciço e um pano interior de tijolo furado, separados por uma caixa-de-ar. Nos anos 60 este tipo de alvenaria caiu em desuso e as paredes de alvenaria começaram a ser constituídas por panos de tijolo cerâmico vazado separados por uma caixa-de-ar. Nos anos 70, apesar da existência de caixa-de-ar entre os panos de alvenaria ser comum, a qualidade das paredes de diminui substancialmente devido à sua pequena espessura. Na década de 80 foi introduzido o isolamento térmico a preencher total ou parcialmente a caixa-de-ar das alvenarias de parede dupla e o comportamento térmico das paredes foi substancialmente aumentado. Na década de 90 após a implementação do primeiro RCCTE verificou-se um aumento da preocupação com o tratamento de pontes térmicas, o que contribui para que sistemas mais eficientes fossem utilizados. No final do século XX começaram a ser utilizados com grande regularidade os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, com destaque para o sistema ETICS. [60]

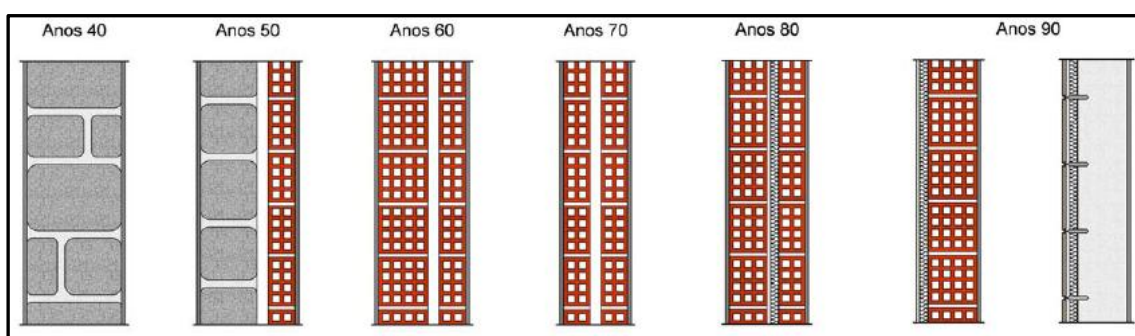


Figura 2.28 - Evolução das fachadas em Portugal desde a década Anos 40 à década de 90 [60]

Como foi referido a análise dos sistemas construtivos é bastante importante para a optimização funcional de um edifício. É portanto, de grande importância analisar dois dos sistemas construtivos de paredes exteriores mais comuns em Portugal: a Parede dupla de alvenaria de tijolo e o sistema ETICS.

2.6.2 Parede dupla de alvenaria de tijolo

A parede dupla é a solução mais utilizada em paredes exteriores em Portugal. Esta é constituída por dois panos de alvenaria (geralmente com espessura entre os 7 e 15 cm) de tijolo vazado travados à estrutura e separados por uma caixa-de-ar.

Na caixa-de-ar deve existir uma camada de isolante térmico (normalmente EPS ou XPS) em contacto com o paramento exterior do pano interior de alvenaria. Na base da caixa-de-ar deve existir uma caleira em meia cana, com pendente. A caleira deve estar desobstruída (para que a água que eventualmente se infiltre pelo pano exterior escorra pelo pano exterior da parede e possa ser drenada) e deve possuir pequenos tubos de drenagem para a água infiltrada seja drenada para o exterior. [24]

A parede dupla deve possuir orifícios de ventilação no topo da caixa-de-ar e espaçadores para garantir o posicionamento do isolante térmico e da caixa-de-ar (a inclinação dos espaçadores deve ser para o exterior, de modo a que sejam evitados escorrimentos para o pano interior da alvenaria). [24]

Os paramentos exteriores e interiores são, geralmente, revestidos por reboco tradicional e estuque, respectivamente.

Para corrigir as pontes térmicas plana nas zonas de transição da alvenaria com as zonas de heterogeneidade (vigas, pilares, lajes) deve-se usar uma forra de tijolo cerâmico de espessura reduzida. Para ser correctamente assente, a forra deve ser apoiada sobre uma saliência na alvenaria. A falta de continuidade nas zonas de transição cria uma zona de transferência térmica que em condições adversas pode estar na origem da ocorrência de condensações superficiais localizadas. Para evitar este problema dever-se-á adaptar a concepção de parede dupla de modo a que pelo menos um dos panos de alvenaria realize, em conjunto com o isolante térmico, a correcção das pontes térmicas planas. [62]

2.6.3 Sistema ETICS

O sistema ETICS é um sistema de isolamento térmico pelo exterior em que o reboco armado é aplicado directamente sobre o isolamento térmico.

Os ETICS mais frequentes no mercado são constituídos por placas de isolamento térmico de poliestireno expandido (EPS) coladas e/ou fixadas mecanicamente sobre um pano simples de alvenaria, como é visível na Figura 2.29. [60]

A camada de base é constituída por duas camadas de um reboco hidrófugo armado com uma ou várias redes de fibra de vidro com tratamento de protecção anti-alkalino. As fibras de vidro têm como função aumentar a resistência mecânica do sistema e evitar deformações, que possam causar fissuração. [60]

Posteriormente com o objectivo de regular a absorção da camada de base e de melhorar a aderência entre a camada de base e a camada de acabamento, deve ser aplicado um primário.

O revestimento do sistema é normalmente composto por um revestimento plástico espesso, que confere estanquidade à água, resistência às solicitações climáticas e mecânicas e confere também o aspecto final do elemento. [60]

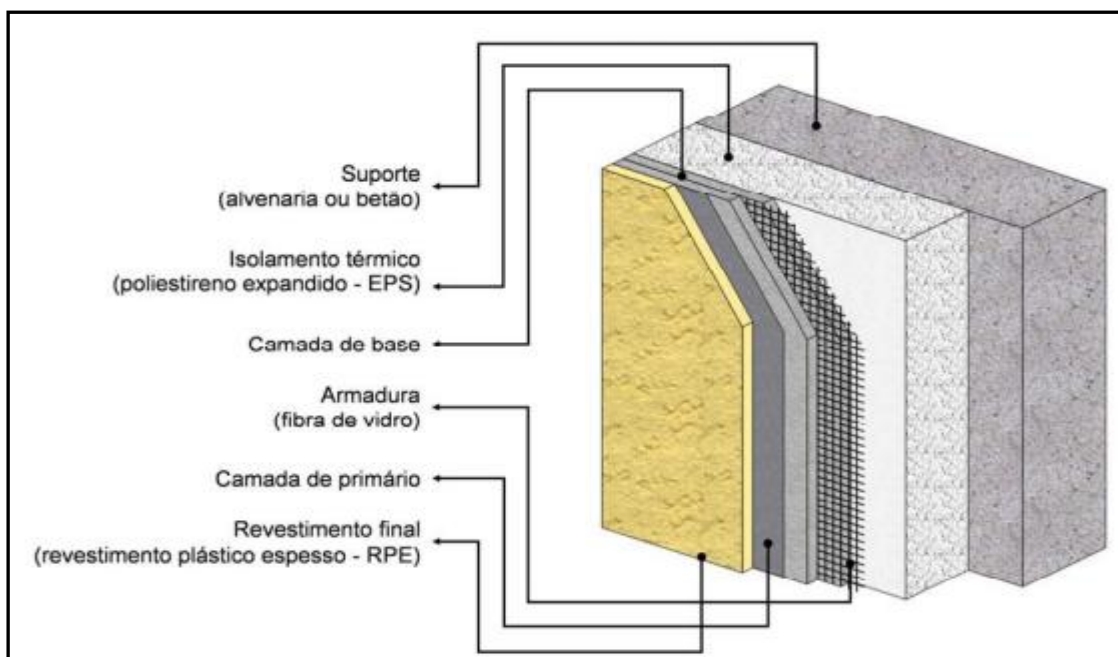


Figura 2.29- ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido [60]

2.6.4 Comparação de soluções construtivas

Comparando as vantagens e desvantagens entre os sistemas ETICS e as paredes duplas de alvenaria de tijolo é possível verificar que, relativamente à parede dupla os sistemas ETICS apresentam as seguintes vantagens: [3][60]

- Diminuição da espessura das paredes e consequente aumento da área habitável;
- Redução das cargas permanentes sobre a estrutura;
- Aumento da inércia térmica das paredes;
- Melhoria da impermeabilização das paredes;
- Diminuição do risco de condensações nas paredes;
- Redução das pontes térmicas, permitindo um revestimento térmico sem interrupções nas zonas de ponte térmica plana o que diminui o coeficiente de transmissão térmica nestas zonas para valores próximo do da envolvente;
- Possibilidade da obra ser executada sem perturbar os ocupantes dos edifícios.

As principais desvantagens dos sistemas ETICS relativamente às paredes duplas são: [3] [63]

- Custo elevado;
- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Aplicação dificultada quando há aberturas e pormenores complicados de executar;
- Reacção ao fogo elevada;
- Aplicação condicionada em edifícios classificados ou de relevante interesse arquitectónico.

Embora o coeficiente de transmissão térmica em ETICS e paredes duplas seja idêntico, o facto de nos sistemas ETICS, as zonas de heterogeneidades serem revestidas pelo isolante térmico e o facto do isolante térmico estar na face exterior da alvenaria fazem com que o desempenho térmico desta solução seja superior ao da parede dupla, o que se reflectirá no consumo e na factura energética permitindo deste modo atenuar o facto do seu custo ser superior ao da parede dupla. [63]

O facto de nos sistemas ETICS as paredes de alvenaria estarem integralmente protegidas pelo isolamento térmico revela-se de extrema importância na prevenção de condensações internas, e do aparecimento de patologias associadas a este fenómeno. [24]

Da comparação dos sistemas construtivos referidos conclui-se a utilização do sistema ETICS apresenta vantagens mais importantes do que a utilização da parede dupla de alvenaria de tijolo.

As paredes exteriores têm bastante importância no comportamento térmico de um edifício, no entanto tal como foi referido na secção 2.1.5. estes são dos elementos com maiores necessidades de reparação nos edifícios do parque habitacional Português. Neste contexto quando se executam obras de reabilitação com o objectivo de melhorar a eficiência energética de um edifício é importante analisar o contributo que as paredes exterior pode ter para esse fim. Devem, assim, ser ponderados os seguintes factores: quais as solicitações a que a parede deve dar resposta, como são os elementos que compõem o edifício, qual será o aspecto desejado e qual a sua contribuição para o consumo energético do edifício. [61]

A energia é, como já foi referido, um dos aspectos que tem ganho mais importância na construção devido essencialmente a questões económicas mas também devido a questões ambientais. É, portanto, necessário que se desenvolvam soluções construtivas que optimizem o desempenho energético dos edifícios permitindo melhorar as condições de conforto interior, minimizando a utilização de sistemas mecânicos de climatização.

2.7 Síntese

Como síntese deste capítulo conclui-se que o parque edificado português tem um número excessivo de habitações por habitante, fruto do excesso de construção nova relativamente a obras de reabilitação ao longo das últimas décadas. Conclui-se também que apesar de ser um parque habitacional

relativamente novo este tem grandes necessidades de obras de reabilitação. Estes dois factos fazem com que as carências quantitativas no parque habitacional português sejam residuais, mas do ponto de vista qualitativo sejam relevantes.

Torna-se evidente a importância de se proceder a uma reorientação estratégica no sector da habitação, de modo a que políticas associadas apenas à quantidade e à promoção da construção nova sejam substituídas por políticas mais eficazes de incentivo à reabilitação urbana, com uma abordagem que tenha preocupações claras de salvaguarda do património existente, da qualidade de vida da população e da redução dos consumos energéticos nos processos construtivos.

A falta conforto térmico é um dos principais problemas do parque edificado português, o que se reflecte na qualidade de vida dos habitantes, no estado de conservação dos edifícios, nos custos energéticos suportados pelos ocupantes e no impacto sobre o meio ambiente. Associados a este factor, os compromissos feitos por Portugal, relativamente ao cumprimento da estratégia 20-20-20, ao cumprimento do protocolo de Quioto, e a entrada em vigor da nova EPBD fazem com que exista a necessidade dos edifícios existentes garantirem um bom desempenho térmico, o que se reflectirá na diminuição do consumo energético.

A mudança de paradigma na construção, em que a noção da insustentabilidade do consumo de recursos e o seu impacto na saúde das pessoas e no meio ambiente tem tido um valor crescente, desenvolveu a necessidade de se criarem novas soluções construtivas que permitam diminuir o consumo de recursos em toda a fase do ciclo de vida de um edifício.

Os elementos da envolvente têm um papel bastante influente no conforto de um edifício, no entanto, estes são dos elementos com maiores necessidades de reparação nos edifícios do parque habitacional Português. Neste contexto em obras de reabilitação de um edifício, deve ser ponderado o contributo que a envolvente exterior pode ter na optimização do comportamento térmico do edifício e a consequente diminuição do consumo de energia e impacte ambiental associados. Estas soluções devem, pelos princípios da construção sustentável, tirar o máximo proveito das condições climáticas onde os edifícios estão inseridos.

As soluções mais utilizadas em Portugal podem não ser as que garantem melhor desempenho energético e ambiental. É importante que soluções com melhor desempenho energético sejam estudadas como meio para atingir um consumo energético em edifícios substancialmente mais baixo, protegendo o meio ambiente e, simultaneamente, promovendo o aumento das condições de conforto interior das habitações.

3. PROPOSTA METODOLÓGICA DE INTERVENÇÃO

3.1 Objectivo da proposta

O objectivo do presente trabalho é a identificação de medidas de melhorias possíveis de introduzir em edifícios existentes, de modo a aumentar a sua eficiência energética, tendo por base o conceito de Construção Sustentável.

Para que este objectivo seja atingido, é necessário que se identifiquem e avaliem as principais anomalias do edifício, de modo a que se determine o seu estado de conservação. Para tal recorre-se ao *Método de Avaliação do Estado de Conservação Imóveis, MAEC*.

Após a aplicação deste método procede-se à avaliação do desempenho energético do edifício, para que se identifiquem quais suas necessidades energéticas e qual o potencial de optimização da sua eficiência energética. Esta avaliação é realizada recorrendo a duas ferramentas: o balanço energético do edifício, calculado com recurso ao software *EnergyPlus* e o *Certificado Energético* do edifício.

Posteriormente procede-se à identificação de medidas possíveis de implementar para que a eficiência energética do edifício seja melhorada. Este processo tem como suporte uma ferramenta denominada por *checklist* que enquadra a reabilitação de edifícios nos parâmetros da construção sustentável, assim como uma *listagem de acções* que permitem aumentar o conforto interior e a conservação de energia em edifícios.

Para que se determine qual é o contributo que a aplicação de cada medida tem para a melhoria da eficiência energética do edifício procede-se ao cálculo do balanço energético de cada medida de melhoria proposta. Comparando as necessidades energéticas associadas a cada medida de melhoria com as necessidades energéticas da solução base é possível determinar qual é o potencial de redução do consumo energético associado à implementação de cada medida. Tal como no cálculo do balanço energético para a solução base, também o cálculo do balanço energético das medidas propostas é efectuado com recurso ao software *EnergyPlus*.

Como auxílio à tomada de decisão das medidas a implementar, correlacionam-se os benefícios funcionais e ambientais das medidas propostas, tendo por base o balanço energético e o seu custo associado através de uma análise custo-benefício. Esta análise é baseada na *Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, MARS-SC*.

Com base na comparação da análise custo-benefício das medidas propostas procede-se à tomada de decisão para que o objectivo proposto seja atingido. A metodologia de intervenção proposta para aumentar a eficiência energética em edifícios existentes é esquematizada na Figura 3.1.

Procedimento	Ferramenta
1 – Levantamento e identificação das anomalias	MAEC
2 - Avaliação das anomalias e do estado de conservação do edifício	
3 - Avaliação do desempenho energético	Certificado energético/EnergyPlus
4 - Identificação das medidas a implementar	Checklist/Listagem de medidas
5 - Balaço energético das medidas propostas	EnergyPlus
6 - Análise custo benefício das medidas propostas	MARS-SC

↓

Tomada de decisão

Figura 3.1 – Metodologia de intervenção

3.2. Metodologia de implementação do MAEC

A avaliação do estado de conservação dos edifícios é definida pelo MAEC. Esta metodologia, desenvolvida no LNEC por João Branco Pedro, António Vilhena e José Vasconcelos de Paiva tem como base a inspeção visual dos elementos construtivos e equipamentos do edifício, para que sejam identificadas e avaliadas as suas principais anomalias. A avaliação das anomalias é baseada na apreciação do nível da anomalia que afecta cada elemento funcional, constituinte do edifício (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Nível de anomalia e respectivo valor atribuído (MAEC) [64]

Nível de anomalia	Muito ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito Graves
Valor correspondente	5	4	3	2	1

O nível de anomalias em cada elemento funcional é definido por quatro critérios de avaliação: [64]

- Consequência da anomalia na satisfação das exigências funcionais;
- Tipo e extensão do trabalho necessário para a correcção da anomalia;
- Relevância dos locais afectados pela anomalia;
- Existência de alternativas para o espaço ou equipamento afectado.

Com base nos dois primeiros critérios é definida a gravidade da anomalia (Quadro 3.2), comparando as condições em que o imóvel se encontra com as condições definidas quando o edifício foi construído ou quando sofreu a última intervenção profunda. [64]

Quadro 3.2 – Critérios de avaliação do nível de anomalia [64]

Muito Ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito Graves
Ausência de anomalias ou anomalias sem significado	Anomalias que prejudicam o aspecto e que requerem trabalhos de fácil execução	Anomalias que prejudicam o aspecto e que requerem trabalhos de difícil execução	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de difícil execução	Anomalia que coloquem em risco a saúde e /ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade e que requerem trabalhos de difícil execução
		Anomalias que prejudicam o uso e conforto e que requerem trabalhos de limpeza, substituição ou reparação de fácil execução	Anomalia que coloquem em risco a saúde e/ou a segurança, podendo motivar acidentes sem gravidade que requerem trabalhos de fácil execução	Anomalia que coloquem em risco a saúde e/ou segurança, podendo motivar acidentes graves ou muito graves
				Ausência ou inoperabilidade de infra-estrutura básica

Os dois últimos critérios têm em conta o local afectado pela anomalia. Se o nível de anomalia afectar as partes principais do edifício deve prevalecer esse nível de anomalia, se as anomalias mais graves afectarem a parte secundária do edifício deve ser calculada uma média entre o nível de anomalia da parte principal e da parte secundária, sendo a importância da parte secundária menor. [64]

Cada elemento funcional tem uma importância relativa, de acordo com uma escala de ponderação (Pd_i) que varia entre 1 (menos importante) e 6 (mais importante). O total de ponderações é de 100 pontos, sendo que 39 pontos são referentes a elementos funcionais do edifício e das partes comuns e 61 pontos são divididos pelas ponderações dos elementos funcionais do locado. [9]

A pontuação de cada elemento funcional (Pt_i) é calculada multiplicando o valor correspondente ao nível de anomalia de cada elemento funcional pela sua ponderação (Pd_i).

Para se determinar o estado de conservação é necessário calcular o índice de anomalias (IA), que é dado por: [9]

$$IA = \frac{\sum Pt_i}{\sum Pd_i} \quad (1)$$

Em que:

IA – Índice de anomalias;

Pt_i – Pontuação do elemento funcional i;

Pd_i – Ponderação do elemento funcional i;

Para converter o índice de anomalias no estado de conservação do edifício são definidas três regras. A primeira regra classifica o estado de conservação do edifício em cinco níveis, de acordo com o índice de anomalias (Quadro 3.3). [9]

Quadro 3.3 – Escala de intervenção para classificação do índice de anomalias [9]

Índice de anomalias	$5,00 \geq IA \geq 4,50$	$4,50 \geq IA \geq 3,50$	$3,50 \geq IA \geq 2,50$	$2,50 \geq IA \geq 1,50$	$1,50 \geq IA \geq 1,00$
Estado de conservação	Excelente	Bom	Médio	Mau	Péssimo

A segunda regra define que não devem existir elementos funcionais com ponderação de três, quatro, cinco ou seis cujo estado de conservação, seja inferior em mais de uma unidade ao estado de conservação do edifício. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do imóvel deve ser reduzido para o nível imediatamente superior ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação três, quatro, cinco ou seis em pior estado. [9]

A terceira regra define que não devem existir elementos funcionais com ponderação de um ou dois cujo estado de conservação, seja inferior em mais de duas unidades ao estado de conservação do edifício. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do edifício deve ser reduzido para o nível superior em duas unidades ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação um ou dois em pior estado. [9]

A avaliação do estado de conservação de um edifício é baseada no preenchimento de uma Ficha de Avaliação, apresentada no Anexo I, onde são caracterizadas, entre outras, as seguintes informações: [9]

- Dados relativos à identificação e características morfológicas do locado e do edifício;
- O nível de anomalia que afecta cada um dos 37 elementos funcionais do locado e do edifício;
- O índice de anomalias, as razões que justificam a atribuição de níveis de anomalia “graves” e/ou “muito graves” aos elementos funcionais;
- O estado de conservação do locado;
- A existência de situações que constituam riscos para a saúde pública e/ou dos residentes.

Após a implementação do MAEC, procede-se à avaliação do desempenho energético do edifício.

3.3 Avaliação do desempenho energético

A avaliação do desempenho energético do edifício é fundamental para que se identifiquem as medidas de melhoria que mais poderão contribuir para a sua optimização energética.

Neste trabalho a avaliação do desempenho energético é efectuada com base numa análise estática (Certificado Energético – RCCTE) e numa análise dinâmica (EnergyPlus) do balanço energético do edifício. O balanço energético é definido pela equação de equilíbrio entre os ganhos e perdas de energia do edifício. Desta forma, o balanço energético permite determinar as necessidades de aquecimento/arrefecimento dos espaços para que o conforto térmico dos ocupantes seja garantido. [65]

A avaliação do balanço energético tendo por base a análise estática obtida apartir do regulamento RCCTE parte de um conjunto de pressupostos que podem não corresponder às condições a que os edifícios estão sujeitos. Apesar de se revelar menos rigorosa que a análise dinâmica, este tipo de análise fornece uma estimativa aceitável das necessidades energéticas do edifício.

Para avaliar o balanço energético do edifício com base num método de análise dinâmica recorreu-se, como já foi referido, ao software EnergyPlus. Este programa é baseado nos programas já existentes Blast e DOE-2, e foi desenvolvido pelo U.S. Departement of Energy, com o intuito de facilitar a determinação do comportamento térmico dos edifícios e do consumo energético que lhes está associado. A estrutura do programa, esquematizada na Figura 3.3, é composta por três componentes básicos o controlador de simulação, o módulo de simulação do balanço de calor e massa e pelo módulo de simulação dos sistemas de edificação. [66]

Para simular o balanço térmico e de massa de uma zona do edifício, o Controlador de Simulação coordena os Módulos de Simulação, como é representado na Figura 3.2. [66]

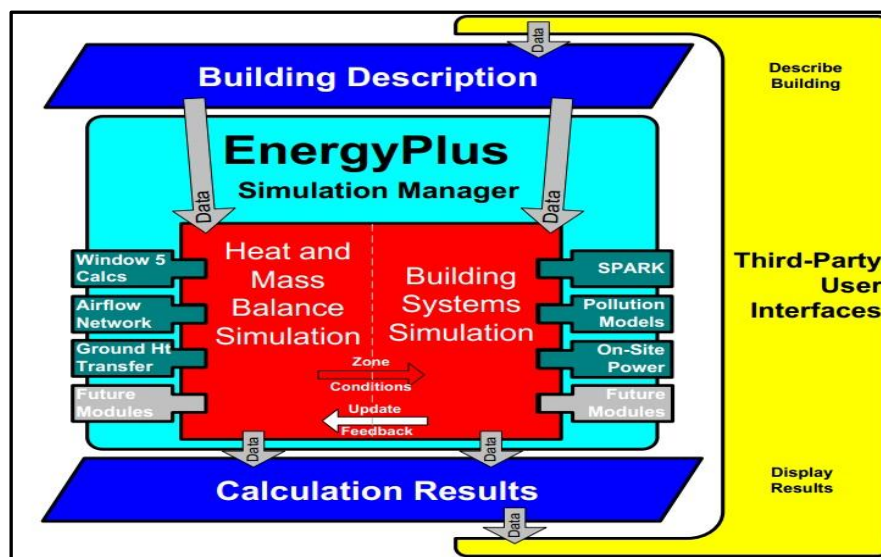


Figura 3.2 - Funcionamento do EnergyPlus [66]

Para calcular o comportamento térmico e as necessidades energéticas de um edifício para que a temperatura do ar ambiente se mantenha dentro dos padrões estabelecidos, o EnergyPlus baseia-se nos dados inseridos pelo utilizador e num ficheiro de dados climáticos do local de implantação do edifício(para este trabalho utilizou-se o ficheiro climático de Lisboa), como é apresentado na Figura 3.3. [63]



Figura 3.3 - Esquema geral do Energy Plus [63]

Na modelação da geometria do edifício é bastante comum que ocorram erros, para que estes sejam detectados utiliza-se uma ferramenta designada por EP-Launch, que para além de permitir que os erros sejam detectados é onde as simulações definidas no IDFEditor são executadas e é onde são inseridos os ficheiros climáticos. Nos arquivos de saída está um ficheiro em formato “Error log”, onde os erros são agrupados consoante a gravidade, do seguinte modo: [63]

- Erro do tipo “warning” está associado a erros menos graves, pelo que não compromete a simulação;
- Erro do tipo “severe” pode comprometer os resultados da simulação, pelo que deve ser corrigido;
- Erro do tipo “fatal” resulta da combinação dos erros “warning” e “severe” e impede a ocorrência da simulação;

O utilizador pode definir várias zonas térmicas (conjuntos de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico), consoante o uso de cada espaço e a climatização existente no local. [67]

As principais vantagens da utilização do EnergyPlus (análise dinâmica) relativamente ao RCCTE (análise estática), para a determinação do balanço energético do edifício são: [63][67]

- A multiplicidade de variáveis que é possível simular, garantindo cálculos mais rigorosos que os cálculos manuais;
- O facto de permitir simulações por intervalos de tempo inferiores a uma hora, possibilita conhecer o comportamento térmico do edifício ao longo do dia;
- Os dados meteorológicos são tidos em conta, através do recurso a ficheiros climáticos da zona de implantação do edifício;

- Possibilidade de definir diferentes zonas térmicas dentro do mesmo espaço;
- A taxa de infiltração de ar é variável, permitindo a análise de situações pontuais de aumento ou diminuição da ventilação;
- Estimativa precisa dos ganhos internos;
- Análise da variação da intensidade e da incidência da radiação solar.

Devido ao facto de a determinação do balanço energético através do EnergyPlus permitir simular uma grande multiplicidade de variáveis, tornando a análise do desempenho energético mais rigorosa, considerou-se que os valores das necessidades energéticas utilizados como referência, neste trabalho, são os valores gerados pelo EnergyPlus, sendo os valores apresentados no certificado energético um auxiliar de referência.

3.4 Metodologia de identificação das medidas possíveis de implementar

Para que fossem identificadas as medidas que permitam aumentar a eficiência energética de um edifício existente, entendeu-se que seria necessário que o processo de reabilitação do mesmo respeitasse os princípios da Construção Sustentável. Para tal recorreu-se a uma ferramenta, denominada por *checklist*, desenvolvida na UNL por Tânia Lopes, que define um conjunto de acções que contribuem para o processo de reabilitação sustentável, tendo em conta os indicadores de sustentabilidade (ambiental, social e económica), ao longo do ciclo de vida do edifício.

A metodologia seguida para desenvolver a *checklist* foi baseada nos sistemas de reconhecimento de sustentabilidade de construção, referidos no capítulo anterior. O seu principal objectivo é permitir que os intervenientes no processo de reabilitação de um edifício consigam, de uma forma simplificada, determinar quais as medidas que podem ser introduzidas num edifício existente, de modo a que o seu desempenho (energético, ambiental, de conforto, etc.) seja optimizado e quais os factores que devem ser respeitados para que as práticas de reabilitação e utilização de um edifício sigam, em todas as fases do processo, os padrões de sustentabilidade. [28]

Deste modo a *checklist* contribui para a eficiente utilização de recursos naturais na fase de concepção e construção, para o aumento da eficiência energética e hídrica e para o melhoramento da qualidade do ar interior dos edifícios, na fase de operação dos edifícios, melhorando o parque edificado existente e minimizando os efeitos das actividades construtivas no meio ambiente. A utilização da *checklist* é, também, um contributo substancial para o melhoramento da classificação atribuída pelos sistemas de reconhecimento da construção sustentável ao edifício. [28]

A *checklist* é estruturada por fases do processo de reabilitação e pelas dimensões do desenvolvimento sustentável, de modo a que os intervenientes saibam quais os principais benefícios associadas a cada acção. [28]

De modo a complementar as acções propostas na *checklist*, recorreu-se a uma *listagem de acções* que contribuem para aumentar a conservação de energia e o conforto ambiental em edifícios, desenvolvida por Miguel Amado.

As acções propostas na *checklist* e a *listagem de acções* permitiu que fosse criada uma lista mais abrangente de medidas que contribuem para o aumento da eficiência energética em edifícios existentes.

3.4.1 Medidas possíveis de implementar

O parque edificado português tem, como foi referido no capítulo anterior, claras necessidades de aumentar a eficiência energética dos seus edifícios.

Para garantir este objectivo e, simultaneamente, aumentar o conforto ambiental no interior dos edifícios é necessário que sejam adoptadas acções de preferência ambiental, constituintes do processo de reabilitação sustentável de um edifício.

A adopção destas acções poderá permitir uma diminuição da factura energética, dos encargos devidos a cargas de potência e manutenção de equipamentos activos e à redução das emissões de gases com efeito de estufa, contribuindo para um aumento da qualidade de vida das populações. [70]

Com base na *checklist* e na listagem de acções que contribuem para aumentar a conservação da energia e o conforto ambiental dos edifícios foram identificadas as seguintes medidas com o objectivo de aumentar a eficiência energética de um edifício existente, ao longo do seu ciclo de vida.

Quadro 3.4 – Lista de Medidas possíveis de implementar

Fase do Processo de Reabilitação	Medidas
Concepção	Reforço do isolamento térmico da envolvente opaca do edifício;
	Reforço do desempenho térmico dos vãos envidraçados;
	Redução das infiltrações de ar (ventilação descontrolada)
	Adopção de técnicas de desenho passivo (direcção e dimensionamento das áreas envidraçadas);
	Adopção de sistemas de sombreamento (palas de sombreamento ou árvores de folha caduca)
	Adopção de sistemas de climatização energeticamente eficientes;
	Aplicação de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias e adopção de sistemas de aquecimento de águas sanitárias eficientes;
	Adopção de sistemas de iluminação exterior e em zonas comuns com temporizadores ou sensores de movimento;
	Aplicação de sistemas geradores de energia eléctrica através de fontes de energia renovável;
	Aplicação de soluções que aumentem e/ou controlem a iluminação natural
	Beneficiação da iluminação natural através da aplicação de revestimentos de cor clara no interior dos compartimentos e/ou através da reorganização espacial;
	Adopção de sistema de ventilação natural;
Construção	Construção de Parede de Trombe ventilada ou não ventilada
	Construção de Parede de Água

	Utilização de lâmpadas de baixo consumo
	Utilização de lâmpadas de halógeno com reflector de IRC e filtro aos raios UV
	Instalação de quadros com corte térmico
	Instalação de sensores de presença
	Instalação de sensores de luz natural
Operação	Adopção de electrodomésticos energeticamente eficientes;
	Substituição de lâmpadas incandescentes por outras com maior eficiência energética.
	Aplicação de intensidade luminosa de acordo com as necessidades das actividades normalmente realizadas em cada compartimento.
	Accionamento dos sistemas de protecção solar nos períodos de incidência da radiação solar
	Elaboração de manual de utilização;
	Elaboração de manual de manutenção;
	Revisão dos equipamentos de climatização;
	Reparação de aparelhagem de iluminação;
	Revisão de sistema de impermeabilização pelo exterior;
	Revisão de sistemas de protecção solar;
	Revisão de mástiques e vedantes em envidraçados;
	Limpeza de colectores e painéis solares

Em Portugal as soluções construtivas mais correntes para paredes exteriores são, tal como mencionado no ponto 2.6, a Parede dupla e o sistema ETICS, por serem geralmente as soluções mais económicas e mais fáceis de implementar.

Contudo, é importante que não se considerem apenas estas duas alternativas e que se abordem e analisem outras soluções, com o objectivo de determinar qual o contributo que estas podem ter para aumentar a eficiência energética dos edifícios existentes.

Em Portugal é fundamental que o potencial de aproveitamento de calor proveniente da radiação solar seja explorado e que soluções solares passivas, como a Parede de Água - “*See Through Wall*” sejam analisadas.

Parede de Água

A Parede de Água - “*See-Trough Wall*” é um sistema solar passivo de ganhos indirectos. Este sistema foi desenvolvido pelo arquitecto Jorge Graça Costa e foi premiado com a medalha de ouro, no concurso internacional de design, realizado pela Fundação Japonesa de Design, em 2005.

A Parede de Água é constituída por um vidro triplo com dois espaços de ar entre os vidros, que formam caixas-de-ar (Figura 3.4). A caixa-de-ar mais próxima do exterior é preenchida por ar durante todo o ano e a caixa-de-ar mais próxima do interior é preenchida por ar na estação de arrefecimento e por água na estação de aquecimento. [71]

É importante que a parede seja protegida por uma pala de sombreamento ou por árvores de folha caduca, na zona inerente à implantação da parede e/ou por estores exteriores, de modo a que se evite o sobreaquecimento do espaço interior, na estação de arrefecimento. [71]

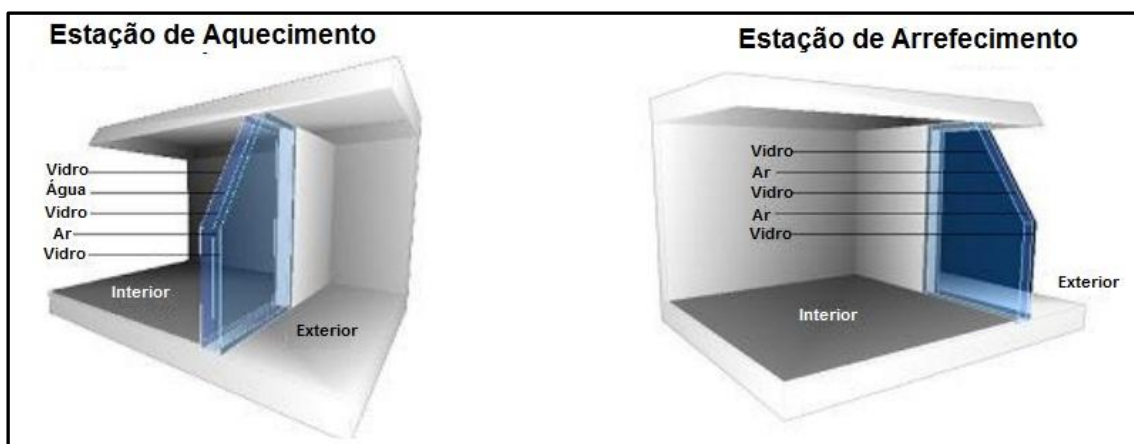


Figura 3.4- Parede de Água “See-Trough Wall” [71]

O funcionamento do sistema tem por base o aproveitamento da capacidade da água acumular calor devido ao seu elevado calor específico. Deste modo, na estação de aquecimento, durante o dia a água acumula calor, e ao final do dia irradia-o para o interior da habitação. Na estação de arrefecimento, a água deve ser esvaziada das paredes ficando estas preenchidas por ar entre os vidros. [72]

A água utilizada no preenchimento da caixa-de-ar é proveniente de águas pluviais que são recolhidas e armazenadas num tanque. A água que preenche a caixa-de-ar poderá posteriormente ser utilizada em descargas domésticas para lavagens, rega e enchimento de piscinas. [71]

Outra das principais vantagens da Parede de Água é o facto de, ao contrário dos sistemas correntes de alvenaria, permitir um contacto visual com o exterior o que tem como principais vantagens aumentar as condições de conforto dos ocupantes, assim como, a diminuição dos custos com aparelhos de iluminação. [71]

É bastante importante que soluções construtivas como a Parede de Água sejam estudadas pelo importante contributo que este tipo de soluções podem ter no aumento da eficiência energética dos edifícios existentes.

3.5 Balanço energético das medidas de melhoria propostas

A determinação do balanço energético de cada medida proposta permite que se determinem quais são as necessidades energéticas que lhe estão associadas. Deste modo, por comparação com as necessidades energéticas da solução base do edifício é possível determinar qual o contributo que a implementação destas medidas tem para o aumento da sua eficiência energética. Para que haja um paralelismo na análise das necessidades energéticas das medidas implementadas e da solução base, o balanço energético das medidas implementadas é, tal como para a solução base, efectuado com recurso ao software EnergyPlus.

3.6 Análise custo-benefício das medidas de melhoria propostas

A caracterização dos custos e dos benefícios das soluções estudadas é a forma de suportar a tomada de decisão da medida a implementar.

A análise custo-benefício proposta nesta metodologia é baseada na *Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, MARS-SC*, desenvolvida na UM por Ricardo Mateus e Luís Bragança.

Para fazer esta análise são considerados três indicadores (ambiental, funcional e económico) que permitem avaliar a sustentabilidade das medidas propostas. Sendo que cada indicador é constituído por diferentes parâmetros. A definição dos indicadores e dos parâmetros assim como o seu peso é feita consoante o objectivo da avaliação, as características das soluções construtivas, as exigências pretendidas e do local de implantação do edifício. [73]

Na Quadro 3.5 são apresentados os indicadores e parâmetros que se consideraram para a análise custo-benefício deste trabalho, assim como a sua respectiva ponderação.

Quadro 3.5 – Ponderação dos indicadores e parâmetros utilizados na análise custo-benefício

Indicador	Parâmetro	Ponderação(%)	Ponderação
Ambiental	Aproveitamento recursos naturais	30	0,1
	Redução das emissões de CO ₂	70	
Funcional	Temperatura Interior	55	0,4
	Risco de anomalias	15	
	Facilidade de Implementação	10	
	Iluminação natural	15	
Económico	Investimento inicial	35	0,5
	Diminuição do consumo	55	
	Custo de manutenção	10	

Relativamente ao indicador ambiental os parâmetros abordados neste trabalho são: o potencial de redução das emissões de CO₂ e o aproveitamento de recursos naturais.

A redução das emissões de CO₂ é um factor de grande importância, que pelas suas repercussões ambientais e consequentemente sociais deve ser ponderado numa avaliação custo-benefício.

Para determinar qual a diminuição de emissões de CO₂, associada à implementação de cada medida proposta, recorre-se ao valor das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{ic}), para essa medida, calculada aquando da realização do balanço energético. As emissões de CO₂ equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases com efeito de estufa libertados devido à conversão de energia primária em quantidades iguais às necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária de um edifício, utilizando como factor de conversão 0,0012 toneladas equivalentes de CO₂ por kgep. [74]

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{ic}) são calculadas com base na seguinte expressão: [74]

$$N_{tc} = 0,1 \left(\frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) \cdot F_{pui} + 0,1 \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua} \quad (2)$$

Em que:

F_{pu} - Factor de conversão de energia útil em energia primária;

η_i - Eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento;

η_v - Eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento;

0,1 - Redução de 10% baseada em dados estatísticos que apontam para uma utilização dos equipamentos para aquecimento/arrefecimento restrito a um período que corresponde a aproximadamente 10% do total necessário;

Calculando as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária para diferentes medidas é possível comparar a quantidade de CO₂ emitido associadas a cada medida proposta e determinar qual é a menos poluente.

A importância do aproveitamento de recursos naturais é tida em conta, como forma de contribuir para a diminuição do consumo de recursos naturais, minimizando o impacto que a utilização dos edifícios tem no ambiente.

Relativamente aos benefícios funcionais considera-se importante para o objectivo deste trabalho avaliar as condições de conforto térmico interior. Para tal analisa-se a temperatura interior do edifício ao longo do ano durante 24h sem que esta seja controlada para se compreender o comportamento térmico de cada solução. Esta análise é feita a partir da simulação efectuada pelo software EnergyPlus.

O potencial de desenvolvimento de anomalias em cada medida proposta também é analisado. No caso de surgirem anomalias num elemento construtivo os seus requisitos funcionais podem deixar de se verificar o que se poderá repercutir na diminuição das condições de conforto dos ocupantes ou em custos de reparação.

A análise de soluções menos convencionais para a envolvente exterior de edifícios existentes, ao longo deste trabalho implica que, pela arquitectura e clima do edifício e pela inovação que está associada às soluções analisadas (podendo ser um factor condicionante para os intervenientes no processo de construção), a facilidade de implementação destas soluções também deva ser ponderada.

A iluminação natural é outro factor que influencia os requisitos funcionais de um edifício na medida em que influencia o conforto interior das habitações. O facto da iluminação natural não ser correctamente concebida poder-se-á ainda repercutir no aumento dos custos energéticos associados a aparelhos de iluminação.

A viabilidade financeira é o factor determinante para a decisão dos intervenientes. No estudo financeiro é contabilizada a poupança na factura energética, o custo inicial de investimento, e o custo de manutenção de modo a que seja determinado o período de retorno do investimento efectuado.

Para se obter o custo de investimento inicial e de manutenção é solicitado o orçamento a três empresas do ramo e são considerados os custos da empresa que apresentar o orçamento mais baixo.

A poupança na factura energética resultante da aplicação das medidas propostas é efectuada convertendo a diminuição das necessidades energéticas globais anuais, obtidas a partir do balanço energético, em poupança monetária.

Após ser feita a ponderação de cada parâmetro estes são normalizados, aplicando a seguinte equação: [75]

$$\bar{P} = \frac{P_i - P_i^-}{P_i^+ - P_i^-} \forall i \quad (3)$$

Em que:

\bar{P} – Parâmetro normalizado; P_i – Parâmetro da solução; P_i^+ - Melhor parâmetro de sustentabilidade; P_i^- - Pior parâmetro de sustentabilidade;

Após a normalização dos parâmetros é possível proceder à sua comparação para as várias medidas propostas, de modo a que se percebam quais são os benefícios e custos que umas soluções têm relativamente a outras. Para uma melhor percepção dos valores associados a cada parâmetro, estes são representados sob a forma de gráficos. [75]

Para que seja determinado o desempenho global de cada medida proposta, comparativamente à solução base determina-se a Nota Sustentável, NS. [75]

Previamente à determinação de NS é necessário que se defina as Notas de Desempenho ao nível de cada indicador. Esta determinação é feita com base nas seguintes equações: [73]

$$ND_A = \sum_{i=1}^m WA_i \times NIA_i \quad (4)$$

$$ND_F = \sum_{i=1}^n WF_i \times NIF_i \quad (5)$$

$$ND_E = \sum_{i=1}^o WE_i \times NIE_i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m WA_i = \sum_{i=1}^n WF_i = \sum_{i=1}^o WE_i = 1 \quad (7)$$

Em que:

ND_A – Nota desempenho ambiental; ND_F – Nota desempenho funcional; ND_E – Nota desempenho económico; WA_i – Peso do parâmetro ambiental; WF_i – Peso do parâmetro funcional; WE_i – Peso do parâmetro económico; m – número de parâmetros ambientais em estudo; n – número de parâmetros funcionais em estudo; o – número de parâmetros económicos em estudo; NAF_i – Nota atribuída ao parâmetro ambiental (i); NIF_i – Nota atribuída ao parâmetro funcional (i); NIE_i – Nota atribuída ao parâmetro económico (i);

As notas atribuídas a cada parâmetro resultam da multiplicação do parâmetro normalizado pela ponderação desse parâmetro.

A determinação da NS é feita ponderando os indicadores ambientais, funcionais e económicos através da seguinte fórmula: [116]

$$NS = W_1 \times ND_A + W_2 \times ND_F + W_3 \times ND_E \quad (8)$$

Em que:

NS – Nota sustentável da solução; W_1 – Peso do indicador ambiental; W_2 – Peso do indicador funcional; W_3 – Peso do indicador económico;

Em função da NS obtida é possível classificar o desempenho de cada medida proposta quanto à sua sustentabilidade, através do Quadro 3.6. [73]

Quadro 3.6– Classificação do desempenho de cada medida consoante a Nota Sustentável [73]

Valor da NS	Classificação do desempenho
<-1	Medíocre
[-1;0[Insatisfatório
0	De referência
]0,1[Ligeiramente superior
[1,2[Superior
[2,3[Muito superior
3	Excelente

Com base na Nota Sustentável obtida para as várias medidas analisadas procede-se à tomada de decisão da medida que mais contribui para atingir o objectivo proposto.

4. APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será descrito, em primeiro lugar, qual o objectivo de validar a proposta metodológica apresentada. Seguidamente será feita a apresentação do caso de estudo e a identificação e análise das suas principais anomalias.

Posteriormente far-se-á a descrição da metodologia adoptada para determinar o balanço energético do caso de estudo através do programa EnergyPlus. Com base nos resultados do balanço energético do caso de estudo avaliar-se-á o seu desempenho energético e propor-se-ão algumas medidas de melhoria para que este seja melhorado.

Por último proceder-se-á à simulação do balanço energético das medidas de melhoria propostas e à realização da sua análise custo-benefício, para que se determine qual é a medida proposta mais benéfica para que o objectivo proposto seja atingido.

4.1 Objectivo de validar a proposta

A metodologia que tem sido desenvolvida neste trabalho tem como o objectivo a melhoria da eficiência energética de edifícios existentes. Para se perceber quantitativamente quais são os contributos que algumas das medidas propostas ao longo deste trabalho podem ter para atingir este objectivo é fundamental que estas sejam testadas num contexto real, isto é, num caso de estudo real.

Para que este objectivo seja atingido impõe-se, em primeiro lugar, que se faça uma análise das anomalias da habitação que serve de caso de estudo. Desta forma conseguir-se-ão identificar as medidas que mais poderão contribuir para o melhoramento do seu desempenho.

Como forma de suportar a decisão sobre qual a medida que mais contribui para aumentar a eficiência energética do caso de estudo, e tendo em atenção a importância que a viabilidade económica tem nos agentes intervenientes da construção, é importante que seja feita uma análise custo benefício das medidas propostas.

4.2 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo abordado neste trabalho é uma fracção habitacional em duplex, no 2º andar de um edifício multifamiliar, localizado na freguesia e concelho do Barreiro, que foi sujeita a um processo de certificação energética e cujas características permitem a introdução de algumas medidas de melhoria apresentadas ao longo deste trabalho. O edifício está localizado na periferia de uma zona urbana e é constituído por cinco pisos, sendo a cave para estacionamento, o rés-do-chão para comércio/serviços e

os restantes pisos para habitação. A época de construção é posterior a 1982 e a tipologia estrutural é betão armado.

A fracção em estudo tem três frentes exteriores orientadas a Nordeste, Sudeste e Sudoeste. Possui tipologia T5, sendo composta por hall, sala comum, cozinha, despensa, três quartos e três instalações sanitárias do piso inferior e hall, dois quartos, divisões para arrumos e instalações sanitárias no piso superior. Apresenta inércia térmica média e a ventilação processa-se de forma natural. A fracção encontra-se limitada superiormente pela cobertura superior inclinada e inferiormente por uma fracção habitacional, possuindo uma zona de pavimento interior sobre os espaços comuns do edifício. Confina de nível com a fracção habitacional adjacente e com os espaços comuns do edifício. A área útil da fracção é de 311,08 m².

A disposição da fracção no Piso 3 e no Piso 4 e a área útil de cada compartimento são representados na Figura 4.1 e 4.2, respectivamente. O edifício encontra-se na Zona climática I1 V2S a 5 metros de altitude (em relação ao nível das águas do mar) e a 5 Km da costa oceânica.

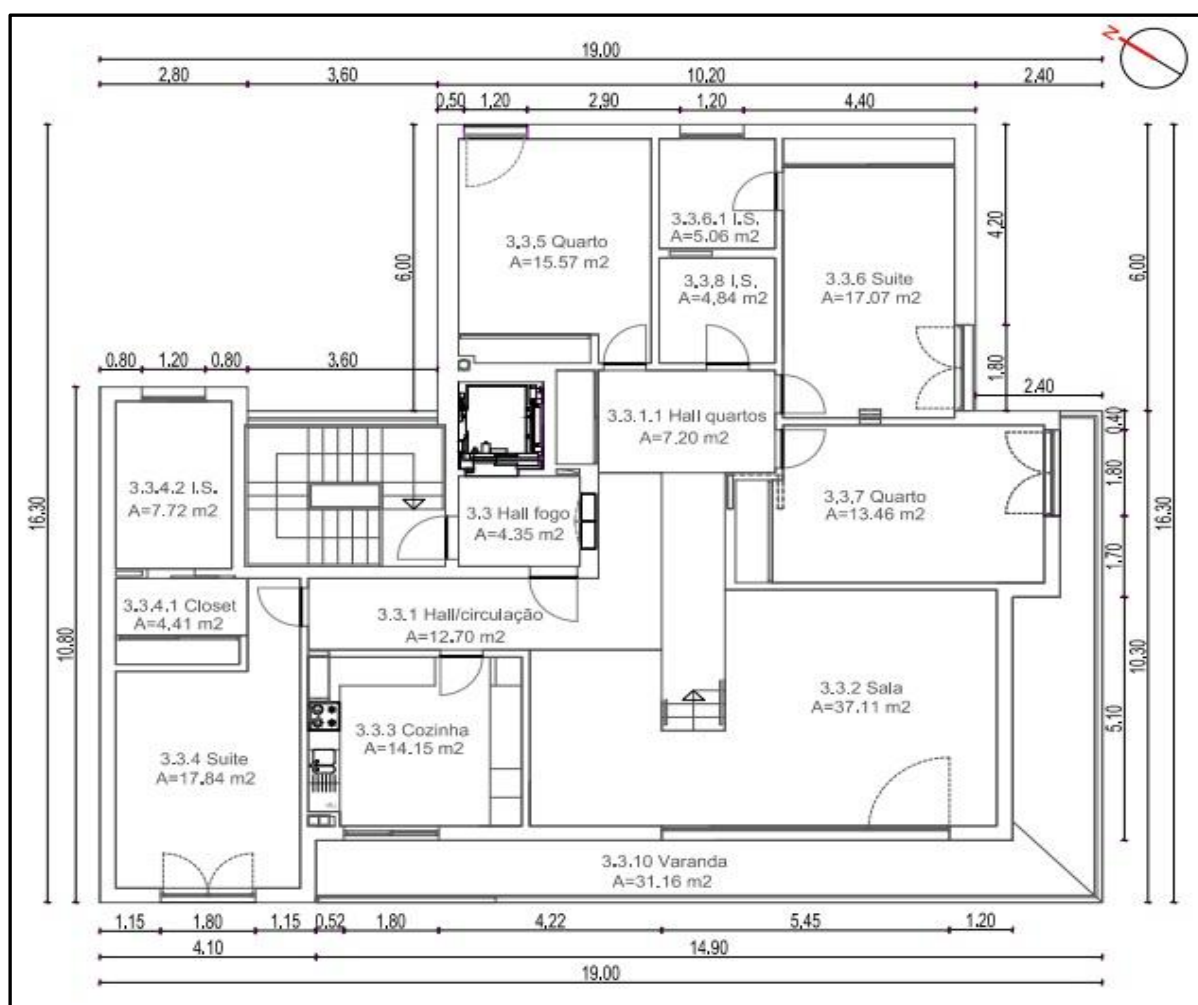


Figura 4.1 – Planta Piso 3

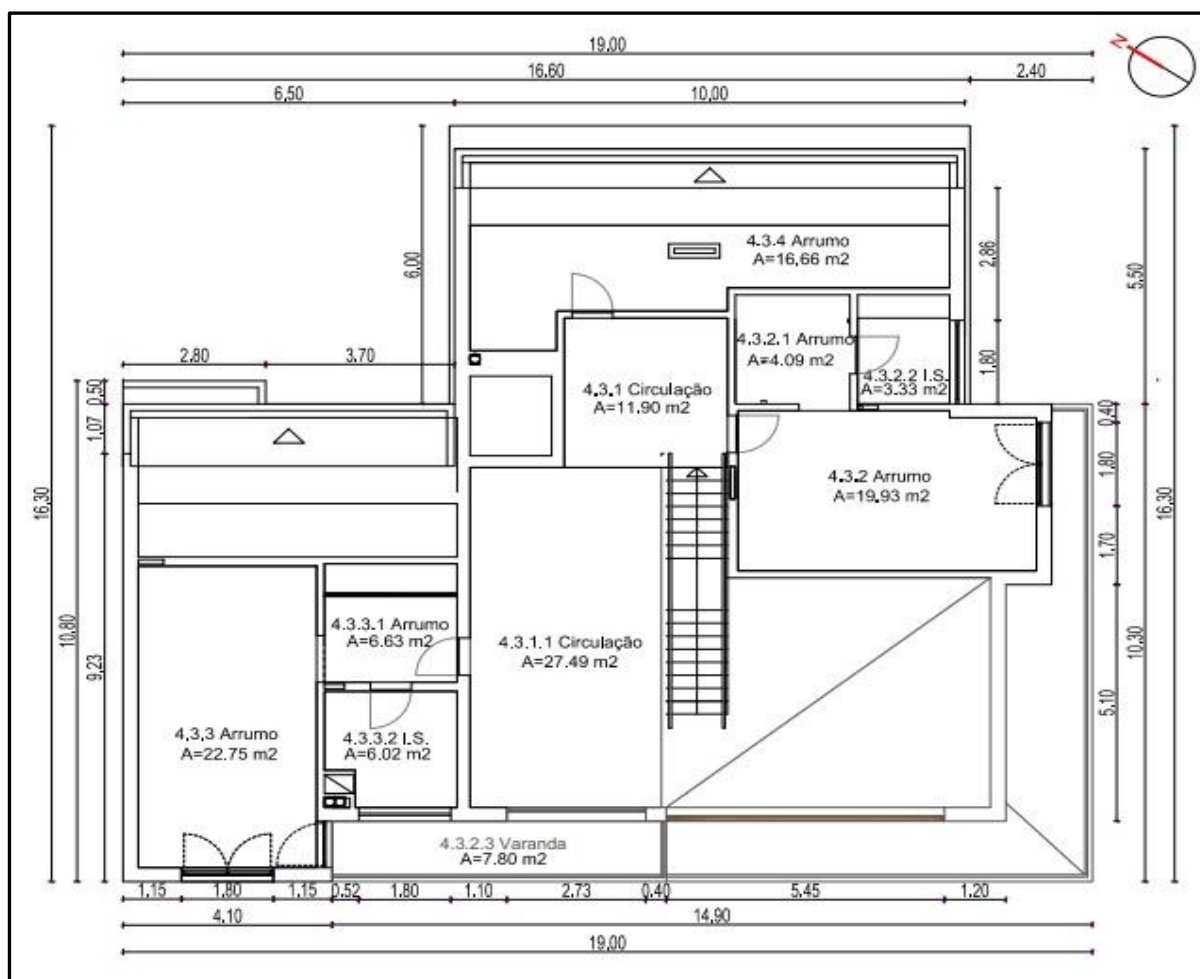


Figura 4.2 – Planta Piso 4

Na escolha da fracção para o caso de estudo procurou-se garantir que esta fosse representativa do parque habitacional português no que respeita à certificação energética. Deste modo garantiu-se que a fracção escolhida não tinha uma classe energética elevada (A ou A^+).

Pela metodologia desenvolvida neste trabalho, a optimização da eficiência energética de um edifício é conseguida implementando medidas que optimizem o seu desempenho térmico. Deste modo é bastante importante que se conheçam as suas soluções construtivas que constituem a fracção em estudo.

A envolvente opaca do caso de estudo é constituída por dois sistemas de isolamento térmico pelo exterior:

- Parede exterior 1 - Sistema de fachada ventilada constituído por um pano alvenaria de tijolo furado ($e=0,2m$) que interiormente é revestido a estuque ($e=0,015m$) e exteriormente por EPS ($e=0,06m$). A parede é revestida exteriormente por painéis fenólicos ($e=0,005m$) que formam uma caixa-de-ar fracamente ventilada ($e=0,08m$) entre estes e o EPS. U da

solução - $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

- Parede exterior 2 - Sistema de isolamento térmico pelo exterior tipo DRYVIT constituído por pano de alvenaria de tijolo furado ($e=0,2\text{m}$) revestido interiormente a estuque ($e=0,015\text{m}$) e exteriormente a EPS ($e=0,06\text{m}$), com acabamento de cor clara. U da solução - $0,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Parede interior em contacto com a caixa de elevador - Parede de betão armado ($e=0,2\text{m}$) revestida interiormente a reboco ($e=0,015\text{m}$). U da solução - $2,69 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Parede interior em contacto com zonas comuns do edifício – Parede de alvenaria composta por dois panos de alvenaria de tijolo vazado ($e=0,11\text{m}+0,11\text{m}$), sem caixa-de-ar, revestida nos espaços comuns a reboco ($e=0,015\text{m}$) e no interior da fracção a estuque ($e=0,015\text{m}$). U da solução - $1,72 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Paredes divisórias interiores – Parede composta por um pano de alvenaria de tijolo vazado ($e=0,2\text{m}$) revestida a estuque ($e=0,015\text{m}$). U da solução - $1,14 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

Os pavimentos apresentam duas soluções construtivas diferentes, dependendo de estarem em contacto com o exterior ou não. O revestimento do pavimento interior também varia consoante o uso para o qual o compartimento está previsto. As soluções de pavimentos adoptadas são:

- Pavimento exterior – Pavimento composto por uma laje maciça de betão armado ($e=0,2\text{m}$), revestida superiormente por uma membrana isolante ($e=0,003\text{m}$), uma camada de enchimento em betão isolante com aglomerado de borracha ($e=0,04\text{m}$), uma camada de betonilha de regularização ($e=0,04\text{m}$), revestida superiormente por mosaico cerâmico ou pavimento flutuante ($e=0,01\text{m}$). Inferiormente a laje é revestida por EPS ($e=0,06\text{m}$). U da solução - $0,44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Pavimento interior – Pavimento composto por uma laje maciça de betão armado ($e=0,2\text{m}$), revestida superiormente por uma membrana isolante ($e=0,003\text{m}$), uma camada de enchimento em betão isolante com aglomerado de borracha ($e=0,04\text{m}$), uma camada de betonilha de regularização ($e=0,04\text{m}$), revestida superiormente por mosaico cerâmico ou pavimento flutuante ($e=0,01\text{m}$). Inferiormente a laje é revestida por reboco ($e=0,01\text{m}$). U da solução - $1,09 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

As coberturas apresentam duas soluções diferentes dependendo de estarem em contacto com o exterior ou não. Deste modo as soluções de cobertura adoptadas são:

- Cobertura interior – Cobertura composta por uma laje maciça de betão armado ($e=0,2\text{m}$), revestida superiormente por uma membrana isolante ($e=0,003\text{m}$), uma camada de

enchimento em betão isolante com aglomerado de borracha ($e=0,04\text{m}$), uma camada de betonilha de regularização ($e=0,04\text{m}$), revestida superiormente por mosaico cerâmico ou pavimento flutuante ($e=0,01\text{m}$). Inferiormente a laje é revestida por estuque ($e=0,01\text{m}$). U da solução - $1,06 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$;

- Cobertura exterior inclinada – Cobertura composta por uma laje maciça em betão armado ($e=0,2\text{m}$) revestida superiormente por XPS ($e=0,04\text{m}$) sob o telhado ($e=0,025\text{m}$) e revestida inferiormente por um tecto falso em gesso cartonado ($e=0,02\text{m}$), formando uma caixa-de-ar ($e=0,2\text{m}$) entre o tecto falso e a laje. U da solução - $0,62 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Os vãos envidraçados constituintes da fracção são de dois tipos distintos, diferindo essencialmente na protecção solar e no facto da caixilharia ter corte térmico. Deste modo, segundo o certificado energético da fracção em estudo, as soluções adoptadas para os vãos envidraçados são:

- Vão envidraçado 1 – Vãos exteriores fixos ou de correr com caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro duplo incolor ($5\text{mm}+11\text{mm}+6\text{mm}$). Possuem protecção solar exterior (estores em laminas metálicas). U da solução – $2,95 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.
- Vão envidraçado 2 – Vãos envidraçados horizontais em caixilharia de alumínio e vidro duplo incolor ($5\text{mm}+11\text{mm}+6\text{mm}$). U da solução – $3,07 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

O cálculo dos coeficientes de transmissão térmica das referidas soluções construtivas é apresentado no Anexo I.

4.3 Implementação do MAEC

Para atingir o objectivo proposto foi necessário proceder à identificação e avaliação das principais anomalias do caso de estudo, de forma a determinar o seu estado de conservação. Para tal recorreu-se ao MAEC.

A avaliação das principais anomalias do caso de estudo foi feita por observação visual dos elementos funcionais do edifício, das partes comuns do edifício e da fracção em estudo. A observação dos elementos funcionais foi feita primeiro no exterior do edifício, posteriormente na zona comum e por último na fracção em estudo, sendo que o sentido de observação dos elementos foi de cima para baixo e no sentido dos ponteiros do relógio. Os elementos observados foram os que estão definidos na ficha de avaliação do MAEC, apresentada no Anexo II:

Dos elementos observados e avaliados constatou-se que existiam os seguintes tipos de anomalias:

- Anomalia ligeira na parede exterior da varanda 3.3.10 – Revestimento de parede com sujidades (Figura 4.3);

- Anomalia média na parede interior Sudoeste do quarto 3.3.5 – Aparecimento de efluorescência (Figura 4.4);
- Anomalia ligeira na instalação do sistema de ventilação da varanda 3.3.10 – Ausência de grelha de ventilação (Figura 4.5).



Figura 4.3 – Revestimento de parede com sujidade

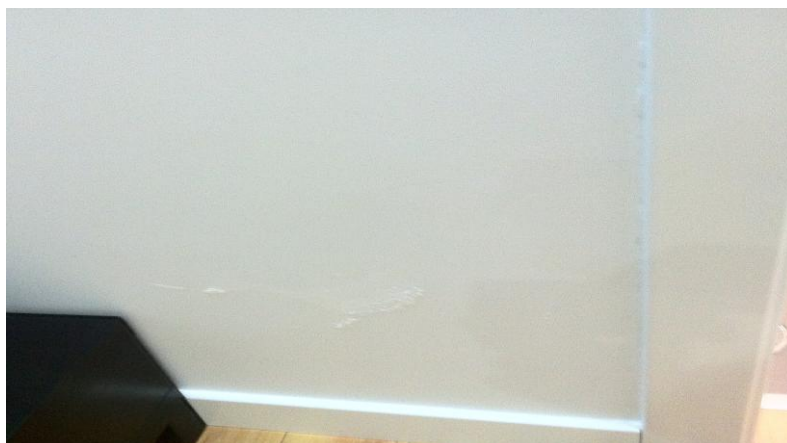


Figura 4.4 – Aparecimento de efluorescência

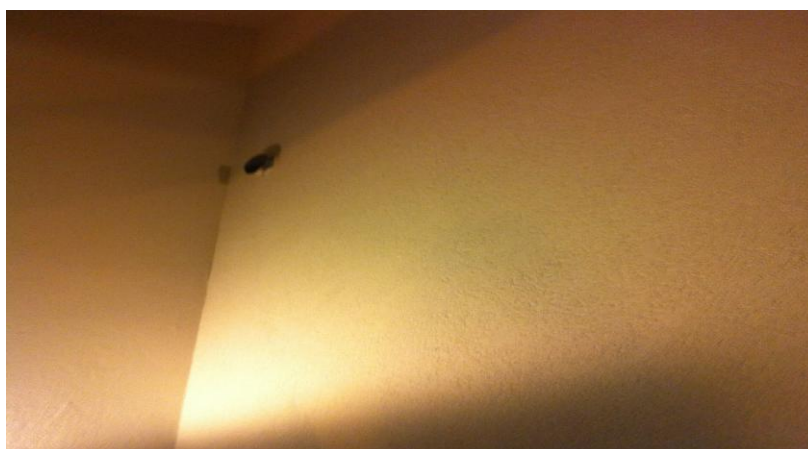


Figura 4.5 – Ausência de grelha de ventilação

A identificação e avaliação das anomalias e a avaliação de todos os outros elementos funcionais permitiu preencher a ficha de avaliação do MAEC (Anexo II) e desta forma calcular a razão entre o número de pontos associado a cada nível de anomalia e ponderação atribuída ao respectivo elemento funcional. Deste modo foi possível calcular o índice de anomalias do caso de estudo do seguinte modo:

$$IA = \frac{\sum Pt_i}{\sum Pd_i} = \frac{462}{95} = 4.86 \quad (1)$$

Em que:

IA – Índice de anomalias;

Pt_i – Pontuação do elemento funcional i;

Pd_i – Ponderação do elemento funcional i;

Após ter sido determinado o índice de anomalias do caso de estudo e após se ter verificado que a segunda e terceira regra do MAEC, referidas no ponto 3.2.1, são cumpridas, recorreu-se ao Quadro 3.3 para se concluir que o estado de conservação do caso de estudo é Excelente.

4.3 Avaliação do desempenho energético da solução base do caso de estudo

A avaliação do desempenho energético do caso de estudo é, pela metodologia desenvolvida neste trabalho, fundamental para que se identifiquem as medidas de melhoria que mais poderão contribuir para a optimização do seu desempenho energético.

Segundo o certificado energético da fracção, esta possui classe energética B⁻. As necessidades anuais globais de energia primária são de 3 kgep/m².ano e são emitidos 1,1 toneladas de CO₂ equivalentes por ano, como é visível na Figura 4.6.

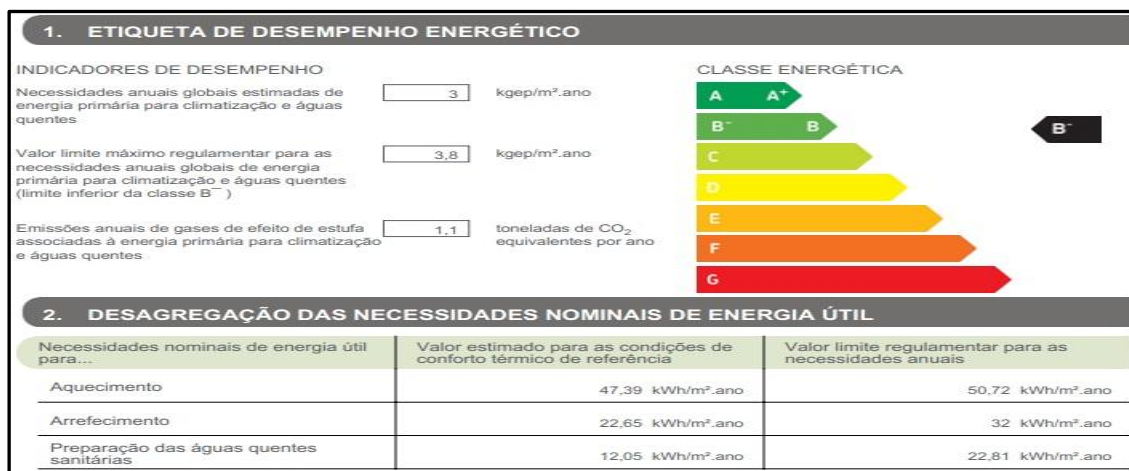


Figura 4.6 – Etiqueta de desempenho energético do certificado energético da fracção em estudo

As propostas de melhoria do desempenho energético e qualidade do ar interior apresentadas no certificado energético são:

- Substituição do equipamento actual e/ou instalação de esquentador de elevado rendimento para preparação de águas quentes sanitárias;
- Substituição do equipamento actual e/ou instalação de sistema de ar condicionado reversível (bomba de calor) tipo inverter com classe energética A, para climatização;
- Instalação de sistema solar fotovoltaico ligado á rede de baixa tensão.

Sendo que o potencial de redução anual da factura energética associada a estas medidas é inferior a 100€/ano.

Analizando o coeficiente de transmissão térmica das soluções contrutivas da fracção, descritas no ponto 4.2, é possível concluir que estas apresentam um comportamento térmico bastante satisfatório. No entanto, o facto da sua classe energética ser B⁻ é indicador de que existe uma margem de optimização do seu comportamento energético.

4.3.1 Recurso ao EnergyPlus

O programa utilizado para fazer a simulação do balanço energético do caso de estudo foi o EnergyPlus, versão 5.0.0.

Apresenta-se seguidamente, de forma sumária, a metodologia utilizada para a introdução de dados, no interface IDF Editor, de forma a que a simulação fosse efectuada.

Parâmetros de simulação (Simulation Parameters)

Neste campo foram inseridos os parâmetros que permitem definir o processo de simulação. Os parâmetros inseridos neste campo foram:

- A versão do programa que se está a utilizar (versão 5.0.0);
- O controlo da simulação (optou-se apenas pela simulação do ficheiro climático);
- Dados relativos à edificação como o nome do caso de estudo (Edifício), o ângulo do edifício em relação ao Norte (47°), a zona de implantação (cidade), as tolerâncias de convergência das cargas (0,05) e das temperaturas (0,5), a distribuição solar (FullExterior, devido à geometria do caso de estudo ser não-convexa) e o número máximo de dias de teste para que as respectivas convergências sejam verificadas (25);

- Período correspondente ao movimento solar para determinar a variação das sombras do edifício (considerou-se um período de 20 dias para que o tempo de simulação não fosse excessivo);
- Algoritmos de convecção interior e exterior das superfícies (optou-se por Detailed pois esta é a opção que tem em conta a orientação solar da superfície assim como as temperaturas das várias superfícies); [66]
- Algoritmo de transferência de calor pela envolvente do edifício (optou-se por ConductionTransferFunction pois é a opção que considera para efeitos de simulação a transmissão de calor por condução, desprezando o armazenamento de humidade nos elementos construtivos); [66]
- O factor multiplicativo do volume de ar da zona térmica (1);
- O intervalo de tempo da simulação (4, pois pretende-se que sejam gerados resultados de 15 em 15 minutos).

Localização e Clima (Location and Climate)

Neste campo foram introduzidos dados referentes à localização do edifício e ao clima onde este está implantado. Tendo em conta que se optou pela utilização do ficheiro climático, que o programa sobrepõe os dados do ficheiro climático aos dados introduzidos pelo utilizador e que a fracção utilizada como caso de estudo não está em contacto com o solo, o único parâmetro que se preencheu neste campo foi o período de simulação. O período de simulação considerado foi de 1 de Janeiro a 31 de Dezembro.

Horários (Schedules)

Neste campo foram introduzidos os dados relativos à utilização e operação do caso de estudo. Foram definidos os períodos de ocupação do espaço, de funcionamento de equipamentos e iluminação, e as temperaturas de controlo nas zonas térmicas de modo a que a simulação seja o mais próximo possível da realidade.

Optou-se por utilizar o campo *Schedule:Compact* porque deste modo se consegue aceder a todos os Schedule num único comando (Figura 4.7). Para que este funcione é necessário que se faça a sua ligação com o *ScheduleLimits*, onde são definidos os limites mínimos e máximos das variáveis do *Schedule:Compact*, assim como a sua unidade e se estas são discretas ou contínuas.

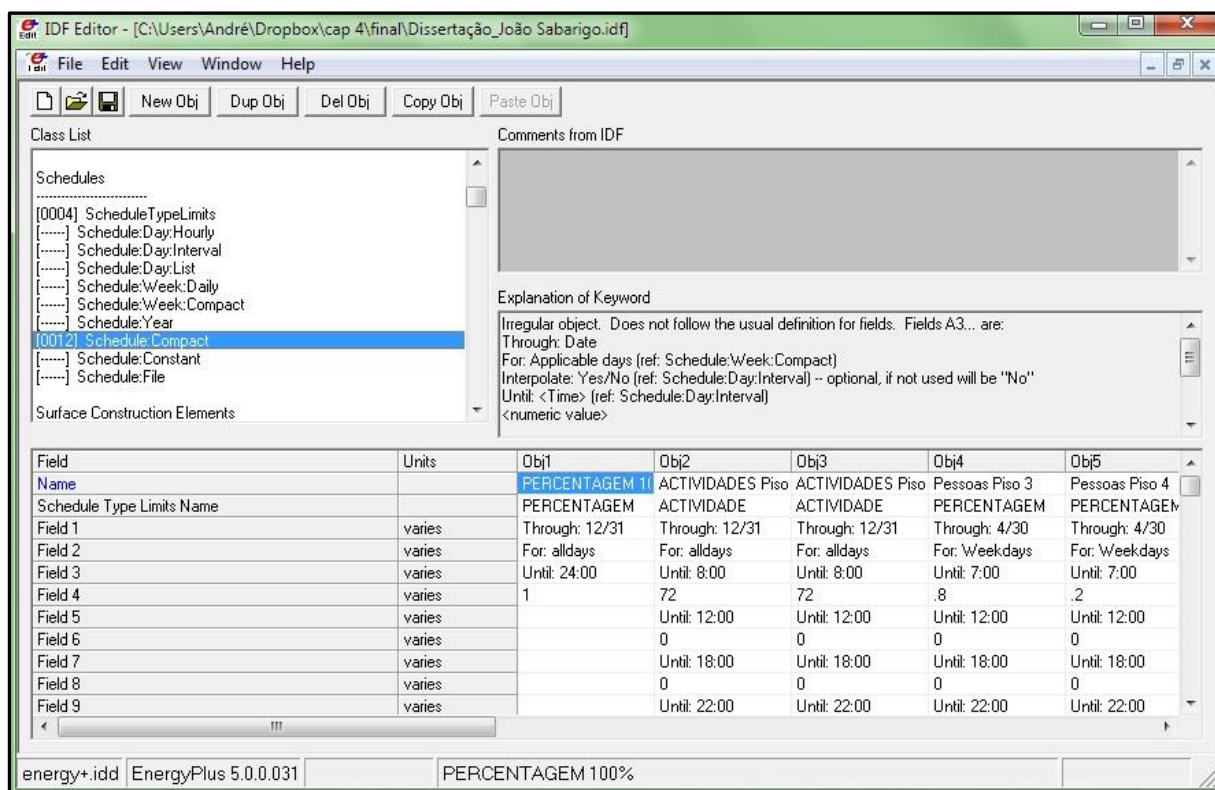


Figura 4.7– Definição dos Schedules no EnergyPlus

Materiais e Elementos da Envolvente (Surface Construction Elements)

Neste campo foram introduzidos os dados relativos aos materiais que formam as soluções construtivas. Os elementos preenchidos neste campo, como é representado na Figura 4.8, foram:

- Os elementos constituintes dos vãos envidraçados como o tipo de vidro e as suas propriedades, introduzidos em *WindowMaterial: Glazing*; o material de preenchimento do espaço de ar do vidro duplo, introduzido em *WindowMaterial: Gas* e a protecção dos vãos envidraçados, introduzida em *WindowMaterial: Shade*. As características destes materiais foram obtidas através da base de dados disponibilizada pelo programa;
- Os materiais e as suas principais características como a espessura, calor específico, coeficiente de transmissibilidade térmica, densidade (tendo sido os valores das duas últimas retirados do ITE50), introduzidos em *Material*; [76]
- A caixa-de-ar nas paredes duplas, introduzida no comando *Material: Airgap*, (tendo sido os valores respeitantes à resistência térmica das caixas de ar retirados do ITE50); [76]
- As soluções construtivas de paredes, pavimentos e coberturas, introduzidas no comando *Construction*. É obrigatório que a ordem de colocação dos materiais seja do exterior para o interior.

A descrição da definição do vão envidraçado da Sala 3.3.2 é descrita no ponto 4.5.

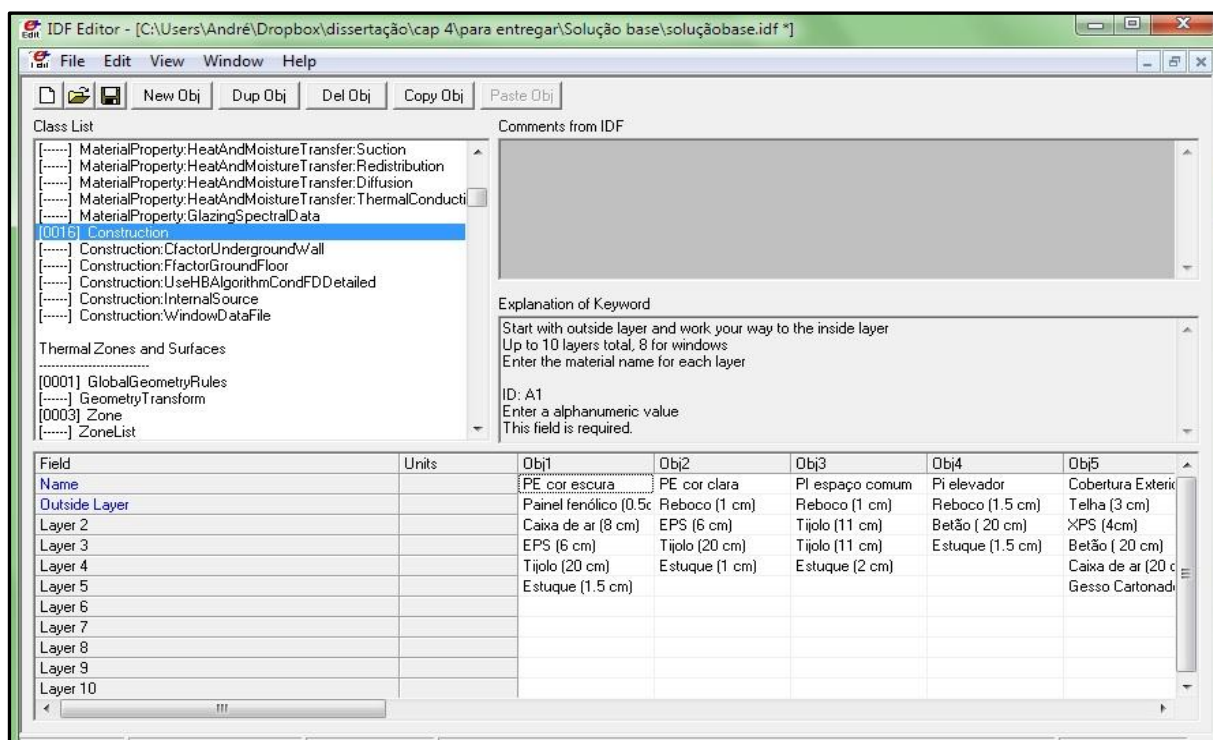


Figura 4.8 – Definição de soluções construtivas no EnergyPlus

Zonas Térmicas e Geometria (Thermal Zones and Surfaces/ Geometry)

Neste campo foram introduzidas as zonas térmicas assim como a sua geometria ao definir todas as superfícies da envolvente opaca. Os comandos preenchidos neste campo foram:

Zonas térmicas, definidas no comando Zone. Considerando que as zonas térmicas são espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico, considerou-se que seria importante para traduzir melhor a realidade criar a Zona Comum (correspondente à caixa de elevador e escadas comuns) por ter padrões de utilização bastante diferenciados das outras zonas que são habitadas e a Zona Piso 3 (correspondente aos compartimentos do piso inferior do duplex) e Zona Piso 4 (correspondente à zona superior do duplex), por terem padrões de utilização e condições de fronteira bastante diferentes;

- Os elementos da envolvente opaca inseridos no comando BuildingSurface:Detailed. Tal como é visível na Figura 4.9, neste comando são definidos o tipo de superfície, o nome da construção definida em Construction, a zona térmica do elemento, as condições de fronteira e as coordenadas cartesianas que formam o elemento. É importante referir que se considerou que nas paredes da fracção em estudo com a habitação adjacente e no

pavimento da fracção em estudo com a fracção subjacente não existe fluxo de calor, por se considerar que as condições térmicas nestes elementos são idênticas. Desta forma considerou-se que os referidos elementos são adiabáticos;

- Os elementos dos vãos envidraçados, inseridos no comando *FenestrationSurface:Detailed*. Neste comando são definidos o tipo de superfície, o nome da construção definida em *Construction*, a superfície onde o vão envidraçado se insere, o controlo de sombreamento, a caixilharia e as coordenadas cartesianas que formam o elemento;
- As propriedades das caixilharias, inseridos no comando *WindowProperty:FrameAndDivider*;
- A actividade dos estores, inseridos no comando *WindowProperty:ShadingControl*;
- A massa das paredes interiores, inserida no comando *InternalMass*.
- Os dispositivos de sombreamento, inseridos no comando *ShadingZone:Detailed*. Neste comando são inseridos a superfície, onde o dispositivo se encontra e as suas coordenadas cartesianas.

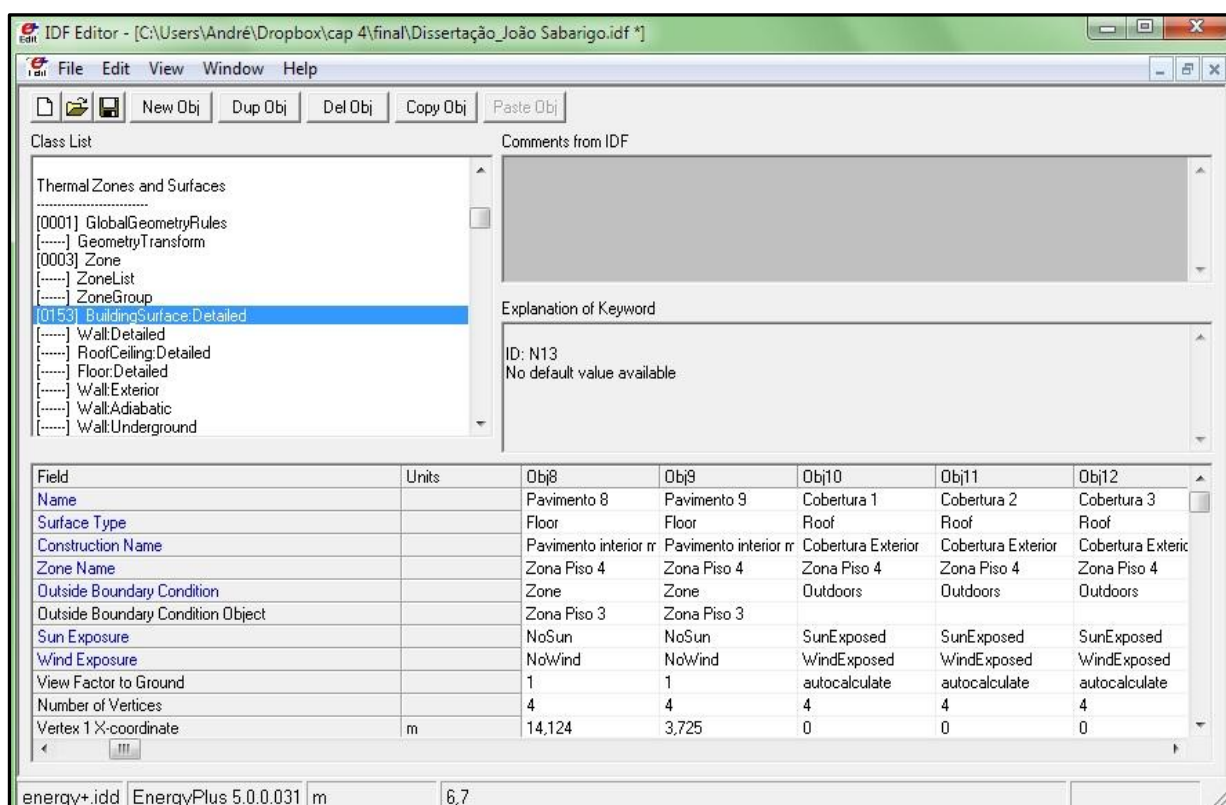


Figura 4.9– Definição da geometria dos elementos da envolvente no EnergyPlus

Ganhos internos (Internal Gains)

Neste campo foram contabilizados os ganhos internos de calor. Para tal, foi necessário que se fizesse a ligação de cada tipo de ganho interno de calor com os *Schedules* criados para representar os padrões de utilização e ocupação da fracção. Os ganhos internos contabilizados foram:

- *People* (ocupação humana) – Estes ganhos são dependentes do tipo de actividade que os ocupantes possam realizar no interior da fracção. Tendo em conta que a fracção em estudo se trata de um T5 e, considerando que um dos quartos será o escritório, admite-se que a fracção tem 5 ocupantes. Os *Schedules* representativos das actividades metabólicas realizadas pelos ocupantes por cada zona, foram definidos com base nos valores de referência definidos pelo EnergyPlus; [66]
- *Lights* (iluminação) – Nos ganhos devido à iluminação foi contabilizada a potência total de lâmpadas de halogéneo para cada zona tendo-se contabilizado 490W para o Piso 3 e 350W para o Piso 4. Os valores de consumo de energia em iluminação foram baseados nos valores unitários de consumo disponibilizados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, associados ao número de compartimentos e de ocupantes; [77]
- *ElectricEquipment* (equipamentos) – Nos ganhos com equipamentos foi contabilizada a potência total de todos os equipamentos eléctricos, em cada zona. Considerou-se que a potência total necessária para o Piso 3 seria de 27480W e de 750W para o Piso 4. Tal como para a iluminação, os valores de consumo de energia por equipamentos foi baseado nos valores unitários de consumo disponibilizados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, associados ao número de compartimentos e de ocupantes; [77]

Renovação de ar (Zone Air Flow)

Neste campo foi introduzida a quantidade de ar exterior que se infiltra no interior de cada zona térmica. O valor admitido para a renovação de ar foi de 0,85 renovações de ar por hora para todas as zonas térmicas em análise.

Controlo de Aquecimento e Arrefecimento (Zone HVAC Controls and Thermostats)

Neste campo definiu-se o intervalo de temperaturas que se pretende que a fracção tenha ao longo do ano. Para definir os limites mínimos e máximos de temperatura recorreu-se aos *Schedules*. Desta forma foi definido como temperatura mínima 20°C e 25°C como temperatura máxima. Quando as temperaturas se situam fora deste intervalo, o controlo do aquecimento/arrefecimento é feito com recurso a um equipamento de climatização

Unidades de ar forçado (Zone HVAC Forced Air Units)

Neste campo foram definidos os parâmetros correspondentes aos equipamentos para climatização existentes. Para tal utilizou-se o comando *ZoneHVAC: IdealLoadsAirSystem*. Os equipamentos considerados são fictícios, isto é, são 100% eficientes, não produzem ganhos internos e mantêm a temperatura dentro do intervalo pretendido. Foi, também, definida a opção *NoOutdoorAir*, garantindo-se desta forma que os equipamentos não afectam a taxa de renovação de ar.

Conexão entre equipamentos (Zone HVAC Equipment Connections)

Neste campo foram definidos os equipamentos de climatização fictícios para as zonas que se pretende que estejam termicamente controladas. Com o objectivo de criar um ciclo na zona de HVAC foram criados nós de saída e entrada de ar.

Posteriormente foram definidos os resultados (Output Reporting) que se pretendia que o EnergyPlus apresentasse. Após a simulação foi também possível obter uma representação 3D da fracção analisada, apresentada na Figura 4.10.

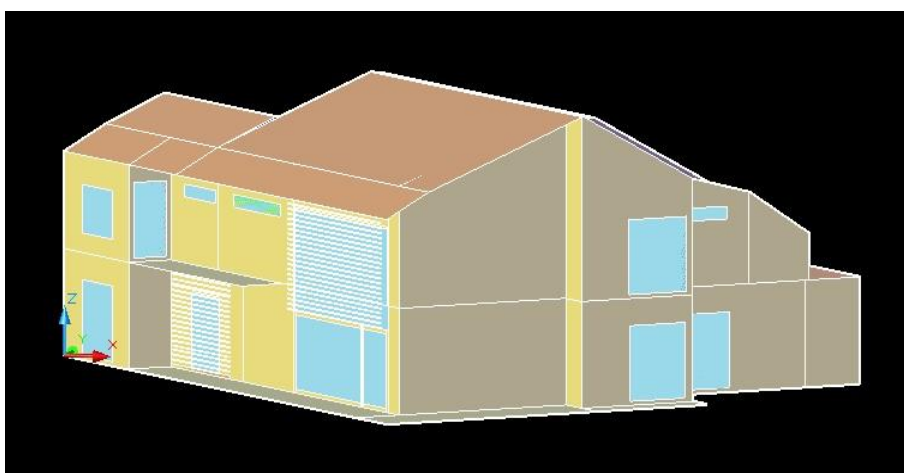


Figura 4.10 - Representação 3D da simulação efectuada pelo EnergyPlus - SW e SE

4.3.2 Comportamento energético da solução base

Neste ponto é efectuada a análise do comportamento térmico da solução base do caso de estudo e das necessidades energéticas que lhe estão associadas para que se garantam os padrões de conforto definidos.

Na determinação do comportamento térmico da solução base consideraram-se, como foi referido anteriormente, três zonas térmicas distintas. Os resultados referentes às temperaturas interiores das referidas zonas térmicas e à temperatura exterior são apresentadas na Figura 4.11.

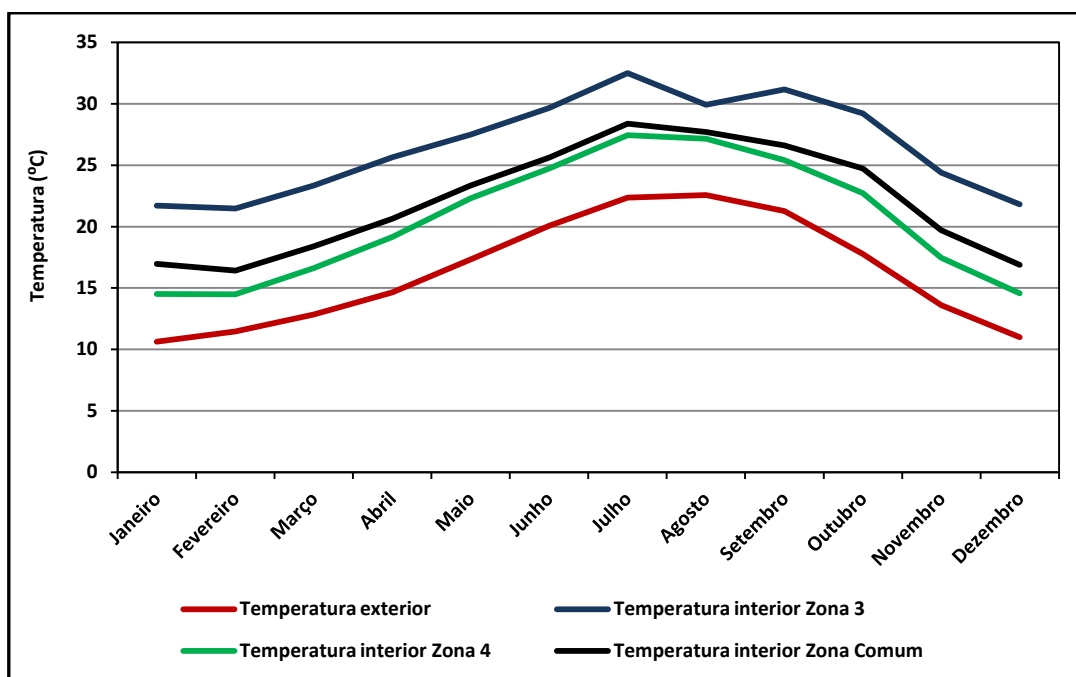


Figura 4.11 – Temperatura média mensal

Da análise da Figura 4.11 é possível verificar que a média mensal da temperatura interior é sempre superior à da temperatura exterior e que a média mensal da temperatura da Zona Piso 3 é sempre superior à média mensal da temperatura da Zona Piso 4. Apesar do Zona Piso 4 estar em contacto com o exterior ao nível da cobertura e de ser sobrejacente à Zona Piso 3, a diferença negativa de temperatura da Zona Piso 4 relativamente à Zona Piso 3 é explicada pelo facto da Zona Piso 4 ser uma zona de desvão não ventilado, o que se reflecte num volume substancialmente maior que o volume da Zona Piso 3. Outra razão que justifica a grande diferença de temperatura entre pisos é a diferença de ganhos internos, como se pode observar na Figura 4.12.

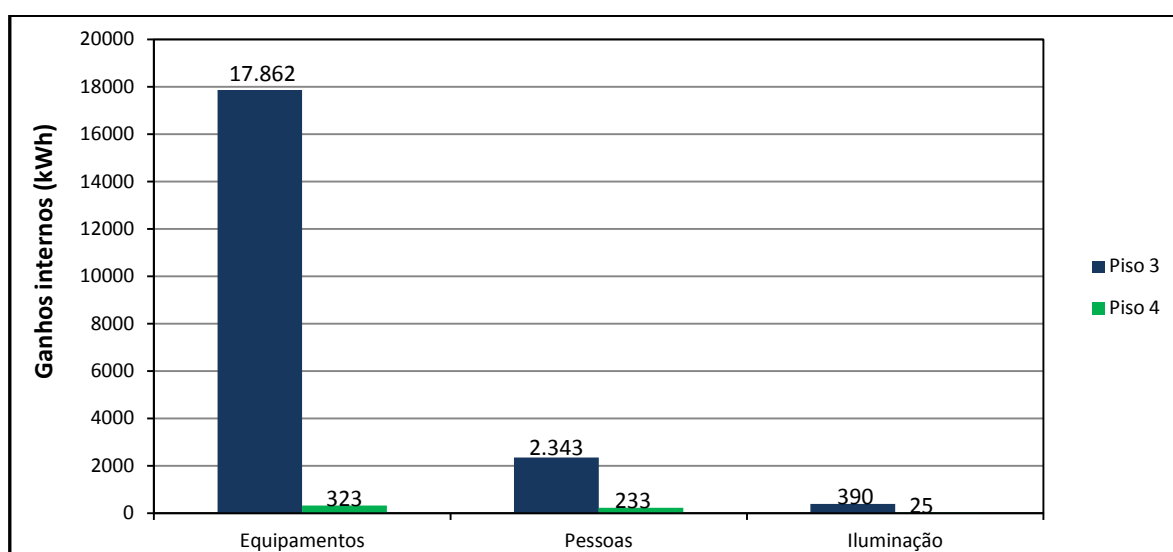


Figura 4.12– Ganhos internos por piso

A temperatura interior média varia entre os 14,5°C e os 32,5°C, sendo que as temperaturas interiores apenas se encontram no intervalo de conforto definido na Zona Piso 3 de Novembro a Março e na Zona Piso 4 em Maio, Junho, Setembro e Outubro.

Devido ao facto da temperatura média interior se encontrar, em determinados períodos, fora dos padrões de conforto foi necessário que se introduzissem, como foi referido no ponto anterior, equipamentos para climatização. Deste modo foram simuladas pelo EnergyPlus as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e globais para cada zona térmica, o que permitiu que se calculassem as necessidades energéticas da solução base do presente caso de estudo. Os valores das necessidades energéticas em cada zona térmica e no todo da fracção autónoma são apresentados na Figura 4.13.

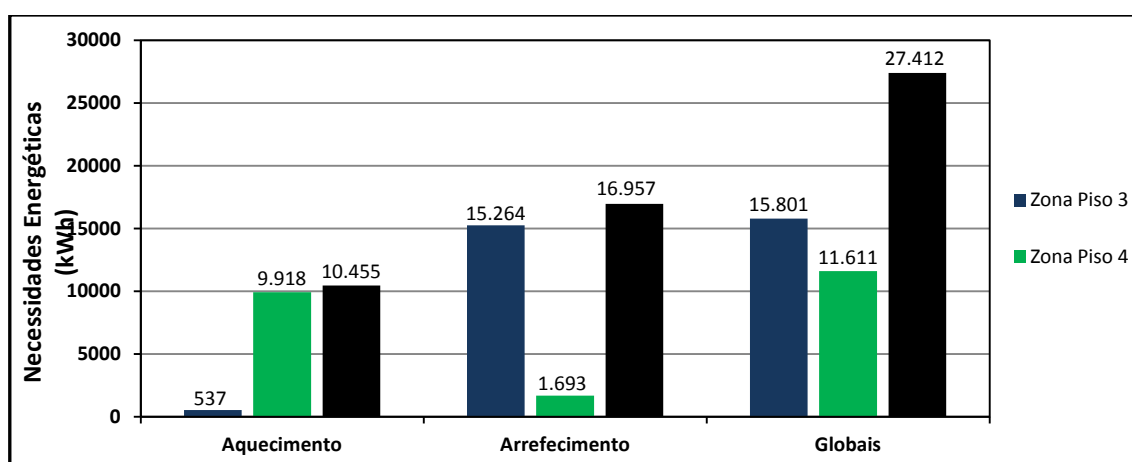


Figura 4.13– Necessidades Energéticas da Solução Base

Da análise da Figura 4.13 é possível concluir que as necessidades de energia para aquecimento são bastante superiores na Zona Piso 4 e que as necessidades de arrefecimento são bastante superiores na Zona Piso 3. A elevada diferença de necessidades energéticas nas duas zonas térmicas submetidas ao controlo térmico deve-se à já referida diferença de temperatura interior entre a zona Piso 3 e a Zona Piso 4. É, também, possível concluir que as necessidades de energia para arrefecimento na fracção autónoma são superiores às necessidades de energia para aquecimento, essencialmente devido à elevada necessidade de arrefecimento da Zona Piso 3.

Comparando os resultados das necessidades nominais de energia resultantes da simulação da solução base efectuada através do EnergyPlus com os valores presentes no Certificado Energético, calculado de acordo com o RCCTE, apresentados na Figura 4.14, é possível concluir que as necessidades de aquecimento são menores nos resultados obtidos através da simulação pelo EnergyPlus do que nos resultados obtidos através dos cálculos do RCCTE e que as necessidades de arrefecimento são maiores nos resultados obtidos através da simulação pelo EnergyPlus do que nos resultados obtidos através dos cálculos do RCCTE.

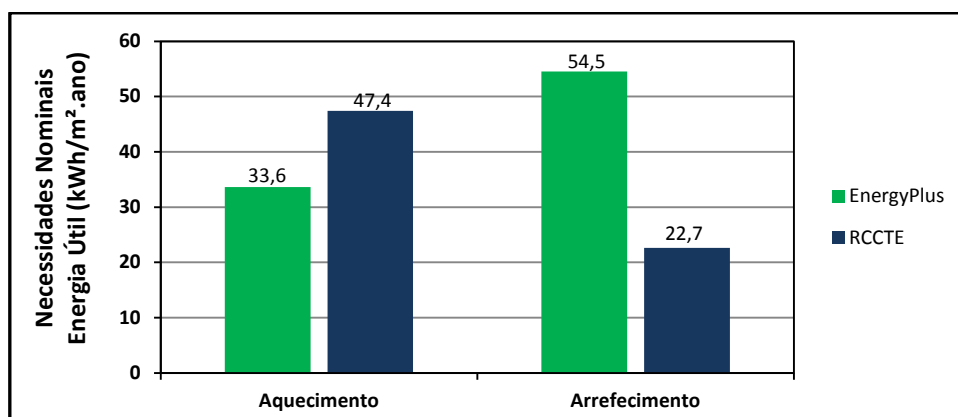


Figura 4.14– Comparação das necessidades energéticas obtidas a partir do EnergyPlus e do RCCTE

Esta discrepância de resultados está, entre outros factores, relacionada com a diferença de abordagens entre os dois métodos no que respeita à contabilização dos ganhos internos. Esta contabilização é feita no RCCTE considerando que os ganhos internos médios por unidade útil de pavimento são de 4W/m^2 , o que se traduz num valor de ganhos internos provenientes de fontes internas de 8391,7 kWh. Este valor é bastante mais pequeno que o valor dos ganhos internos resultante da simulação feita através do EnergyPlus que é de 27388,8 kWh. Esta diferença de valores de ganhos internos reflecte-se numa diminuição do aquecimento da fracção autónoma, o que provoca o aumento das necessidades de aquecimento e a diminuição das necessidades de arrefecimento, da abordagem definida pelo RCCTE relativamente á definida pelo EnergyPlus.

4.4 Implementação de medidas que permitem aumentar a eficiência energética

O caso de estudo analisado neste trabalho não tem, como foi acima referido, problemas relacionados com o seu estado de conservação. No entanto, tal como a generalidade dos edifícios do parque habitacional português energeticamente certificados, tem um comportamento térmico que não é o melhor (classe energética B⁻) e que poderá ser optimizado. Nesse sentido e tendo em conta o objectivo do presente trabalho propõem-se neste ponto algumas medidas adaptadas do Quadro 3.4, que quando implementadas poderão optimizar o desempenho energético do caso de estudo.

Substituição do vão envidraçado da Sala 3.3.2 por uma Parede de Água

A implementação desta solução poderá diminuir a condução de calor pela envolvente da fracção, o que se repercutirá na diminuição das perdas de calor na estação de aquecimento e na diminuição dos ganhos na estação de arrefecimento. Esta diminuição da transferência de calor deve-se ao facto da camada de água ou de ar e da camadas de vidro adicional ao vidro duplo existente contribuírem para que esta solução tenha uma resistência térmica superior à do vão envidraçado existente. Com a

implementação da Parede de Água para além do referido aumento da resistência térmica obter-se-ia também uma inércia térmica mais forte do que a da solução existente.

A orientação onde o vão envidraçado da Sala 3.3.2 está implantado é, bastante propícia à implantação da Parede de Água porque, como foi visto no ponto 2.5.4.1, a orientação a Sudoeste é uma das orientações que mais ganhos solares recebe, o que associado às propriedades da água (elevado calor específico) optimiza o desempenho da solução, permitindo que os ganhos de calor recebidos durante o dia sejam irradiados para o interior da fracção à noite.

Outra das razões da implementação desta parede é o potencial de diminuição de consumo de recursos naturais que lhe está associado. Através da captação de águas pluviais e da sua introdução na caixa-de-ar interior da parede é possível obter um “isolante térmico natural”. Posteriormente, a água armazenada na caixa de ar interior da parede poderá ser utilizada para fins não potáveis. Deste modo o consumo de recursos hídricos e energéticos é reduzido, contribuindo-se para um processo construtivo de acordo com os princípios da Construção Sustentável.

Para avaliar o seu desempenho esta solução foi estudada com diferentes espessuras de (10, 15 e 20 cm) e para a espessura em que se obtiveram melhores resultados de poupança energética foi estudada a sua implementação em diferentes locais (Piso 3, Piso 4 e em ambos).

Sombreamento integral do vão envidraçado da Sala-3.3.2 com recurso a painéis de sombreamento

Com objectivo de diminuir os ganhos de calor desnecessários na estação de arrefecimento, através dos vãos envidraçados, considerou-se que seria importante avaliar o desempenho energético do caso de estudo quando o vão envidraçado da Sala-3.3.2 estivesse integralmente protegido por painéis de sombreamento. O sombreamento integral do vão é feito considerando que este estará activo apenas entre Junho a Setembro e que estes são compostos por ripas de madeira de 3 cm de altura espaçadas a cada 10 cm, dispostas ao longo do comprimento e da altura do vão.

Ventilação natural nocturna

Tendo em conta que as necessidades de arrefecimento do caso de estudo são superiores às necessidades de aquecimento, a implementação da ventilação natural nocturna pode ser um importante contributo para aumentar a sua eficiência energética. A implementação deste sistema de arrefecimento passivo tem como objectivo diminuir a temperatura interior na estação de arrefecimento, diminuindo desta forma as necessidades de arrefecimento. Esta medida não requer qualquer intervenção construtiva visto ser uma medida exclusivamente comportamental, implementada alterando os hábitos comportamentais dos ocupantes. Para que o valor da ventilação se mantivesse em 0,85 rph optou-se

por aumentar este valor em 40% durante 12 horas do dia e reduzir em 40% este valor durante as outras 12 horas.

Optimização dos vãos envidraçados introduzindo gás Árgon no interior da lâmina de ar dos vidros duplos das janelas

Com a substituição dos vidros incolores existentes por vidros de baixa emissividade e com a introdução de gás Árgon no interior dos vidros duplos das janelas espera-se diminuir as perdas de calor pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento e diminuir os ganhos excessivos de calor na estação de arrefecimento.

4.5 Balanço energético das medidas implementadas

A metodologia utilizada para a simulação do balanço energético das medidas a implementar foi similar á referida no ponto 4.3.1 para a determinação do balanço energético da solução base. No entanto para alguns casos pontuais foram adoptadas os seguintes procedimentos:

- Para calcular o balanço energético da substituição do vão envidraçado da Sala 3.3.2 pela Parede de Água foi necessário que a tanto a Parede de Água como o vão envidraçado da Sala 3.3.2 fossem definidos em *BuildingSurface:Detailed*, e não em *FenestrationSurface:Detailed*, como os outros elementos dos vãos envidraçados. Recorreu-se a este procedimento porque como não é possível definir soluções construtivas para vãos envidraçados cujo material entre os vidros não esteja definido na base de dados do programa e tendo em conta que se queria simular a presença de água entre os vidros e que a água não consta nessa base de dados, optou-se por este procedimento porque é mais importante para o objectivo deste trabalho avaliar as diferenças do comportamento energético entre a Parede de Água e o vão envidraçado do que determinar o balanço energético da solução base de uma forma mais precisa. Para tal foi necessário definir os materiais *Água* e *Vidro* no campo *Materials*, para que fossem criadas duas novas soluções construtivas em *Construction*. Dada a impossibilidade do EnergyPlus admitir estores nas superfícies opacas, não foram definidos elementos de protecção solar exterior para além dos painéis de sombreamento;
- No cálculo do balanço energético do aumento da ventilação nocturna definiu-se, através da criação de um *Shedule*, um padrão comportamental que permitiria que durante 12 horas por dia a ventilação fosse aumentada em 40% para o valor de 1,19 rph e que nas 12 horas

do dia complementares às referidas a ventilação seria diminuída em 40% para o valor de 0,51 rph, para que a média diária de renovações de ar por hora fosse mantida em 0,85 rph;

- Tendo em conta que algumas das medidas propostas só estariam activas durante a estação de arrefecimento e dada a impossibilidade de se aplicarem Schedules aos elementos da envolvente opaca, para se determinar o balanço energético da aplicação destas medidas foi necessário que se conjugassem: os valores da solução base para a estação de aquecimento com os valores do sombreamento do vão envidraçado para a estação de arrefecimento para obter o balanço energético da implementação do sombreamento integral do vão envidraçado da Sala 3.3.2; os valores da Parede de Água com a caixa de ar interior preenchida por água na estação de aquecimento com os valores da Parede de Água preenchida por ar para a estação de arrefecimento, para que se obtivesse o balanço energético da substituição do vão envidraçado da Sala 3.3.2 pela Parede de Água.

4.6 Discussão dos resultados

Com o objectivo de determinar qual o contributo que as medidas propostas no ponto 4.4 poderiam ter para aumentar o desempenho energético do caso de estudo avaliaram-se, com base nos resultados das simulações efectuadas através do EnergyPlus, as necessidades energéticas associadas a cada medida de melhoria comparando-as com as necessidades energéticas obtidas para a solução base.

Substituição do vão envidraçado da Sala 3.3.2 por uma Parede de Água

Na avaliação da substituição do vão envidraçado no piso 3 e 4 pela Parede de Água foram utilizadas várias espessuras de camada de água, para que se percebesse qual a importância deste factor para o comportamento energético da solução. Assim foram testadas a Parede de Água de 10,15 e 20 cm, cujas necessidades energéticas são apresentadas na Figura 4.15.

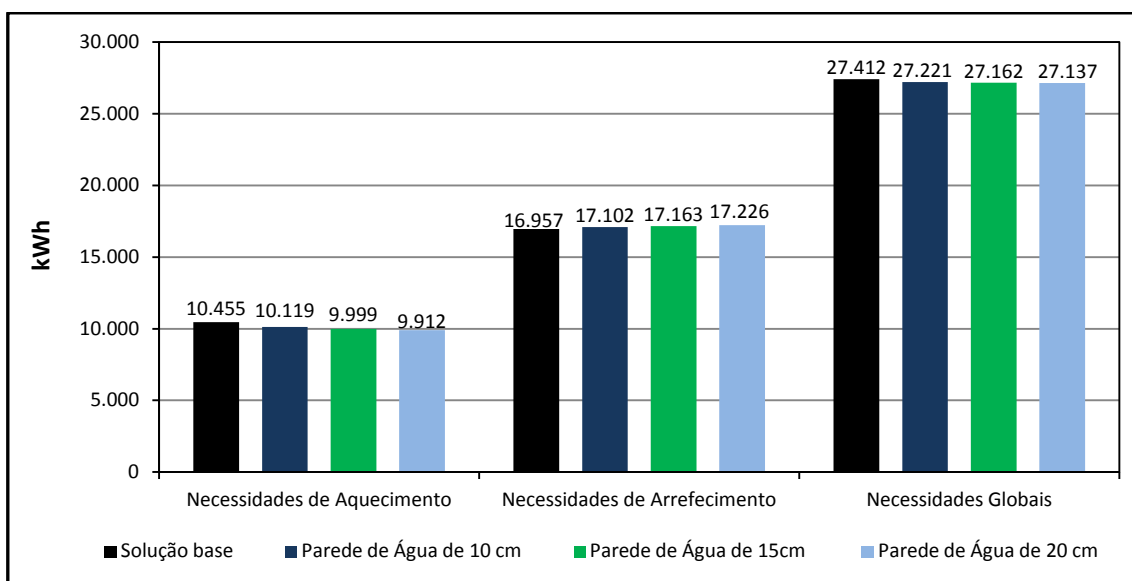


Figura 4.15– Comparação da solução base com a Parede de Água

Observando a Figura 4.15 é possível concluir que quanto maior é a espessura da camada de água menores são as necessidades de aquecimento e maiores são as necessidades de arrefecimento. Embora a solução que tem a maior espessura de água seja que tem maiores necessidades de arrefecimento esta é a solução que apresenta maior diminuição das necessidades energéticas globais (- 275kWh relativamente à solução base), e portanto, esta é das três soluções analisadas a que mais contribui para aumentar a eficiência energética da solução base.

Para que se determinar qual é a importância do local de implementação da Parede de Água estudou-se a sua implementação isoladamente na zona térmica Piso 3 e na zona térmica Piso 4. Na Figura 4.16 são apresentadas as necessidades energéticas associadas à aplicação da Parede de Água de 20 cm separadamente e em ambas as zonas.

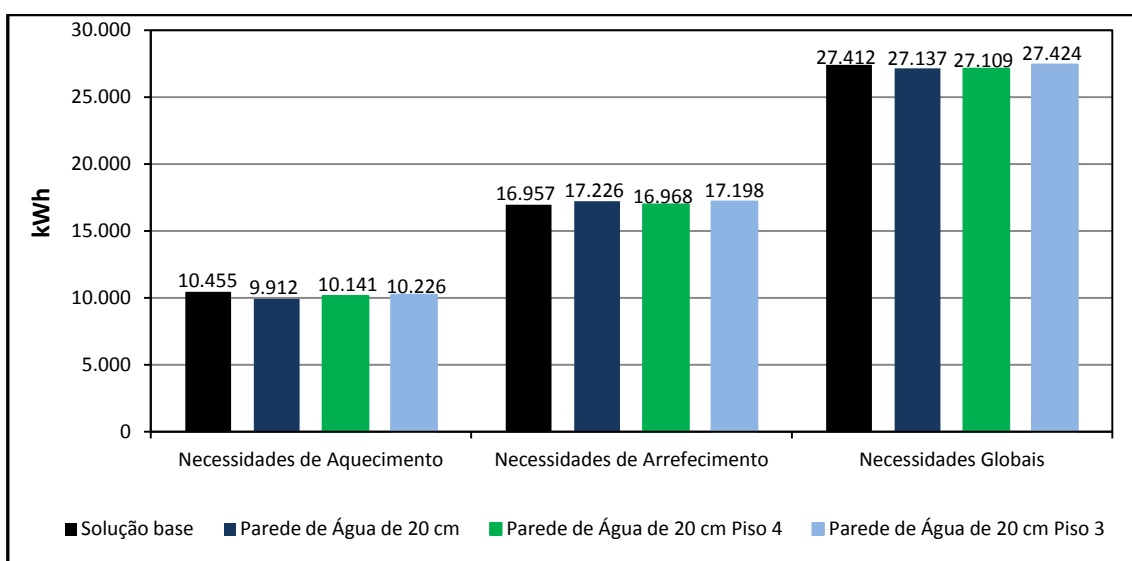


Figura 4.16– Comparação da Parede de Água de 20 cm nas Zonas Piso 3 e Piso 4

Da análise da Figura 4.16 é possível concluir que a implementação da Parede de Água tanto na zona piso 4 como na zona piso 3 permite obter uma diminuição das necessidades de aquecimento assim como um aumento das necessidades de arrefecimento relativamente à solução base. Porém, no caso da implementação da Parede de Água no Piso 3 a diminuição das necessidades de aquecimento é inferior ao aumento das necessidades de arrefecimento o que faz com que as necessidades energéticas globais sejam em 12,3 kWh superiores às da solução base. No caso da aplicação da Parede de Água no Piso 4 verifica-se que a diminuição das necessidades de aquecimento é superior ao aumento das necessidades de arrefecimento o que se reflecte na diminuição das necessidades globais anuais de energia em 303,4 kWh relativamente à solução base.

Esta diferença de comportamentos consoante o local de implementação da Parede de Água é explicada pela diferença de temperaturas interiores entre os pisos e pela consequente diferença de necessidades energéticas no piso 3 e no piso 4. Quando a Parede de Água é implantada no Piso 3 a resistência térmica da envolvente do piso 3 aumenta, como esta zona tem claras necessidades de arrefecimento este aumento de resistência térmica diminui a transferência de calor por condução e aumentam as necessidades de arrefecimento para que o espaço seja arrefecido. Por outro lado quando a Parede de Água é implementada apenas no piso 3, verifica-se que o piso com maiores necessidades de aquecimento não está tão bem isolado relativamente ao que estaria se a Parede de Água fosse implementada no piso 4. Este facto é responsável pelo aumento das perdas de calor, e portanto, pelo aumento das necessidades de aquecimento para que o piso 4 se mantenha dentro dos padrões de conforto definidos.

É, também, possível concluir que a implementação da Parede de Água no piso 4 permite uma diminuição das necessidades energética globais superior à verificada aquando da implementação da Parede de Água em ambos os pisos. Este facto está relacionado, como se referiu anteriormente, com o aumento das necessidades energéticas globais quando a Parede de Água é implementada no piso 3, o que era espectável visto a Parede de Água ser uma solução de aquecimento passivo e a zona com maiores necessidades de aquecimento ser a zona Piso 4, ao passo que a zona piso 3 tem essencialmente necessidades de arrefecimento.

Conclui-se, portanto, que das soluções de Parede de Água estudadas a que tem melhor desempenho térmico é a Parede de Água de 20 cm implementada apenas no Piso 4.

Sombreamento integral do vão envidraçado da Sala-3.3.2 com recurso a painéis de sombreamento

O prolongamento dos painéis de sombreamento até ao nível do pavimento do piso 3 diminui as necessidades de arrefecimento da fracção autónoma em 19,9 kWh. Este facto deve-se ao efeito que os painéis de sombreamento tiveram na redução dos ganhos solares pelo vão envidraçado. As

necessidades de aquecimento praticamente não registaram alterações com a implementação desta medida.

Ventilação natural nocturna

A aplicação desta medida permitiu que as necessidades energéticas diminuíssem em 285 kWh, sendo que 86% desta redução corresponde à diminuição das necessidades de arrefecimento, o que está de acordo com a sua função visto esta ser uma medida de arrefecimento passivo. A redução das necessidades de arrefecimento é devida à tiragem do ar interior e à sua substituição pelo ar exterior mais fresco.

Optimização dos vãos envidraçados

A optimização dos vãos envidraçados através da substituição dos vidros existentes por vidros de baixa emissividade e introduzindo gás Árgon no interior da lâmina de ar dos vidros duplos das janelas provocou um aumento de necessidades de aquecimento de 191,3 kWh e uma diminuição de 1008,7 kWh de necessidades de arrefecimento, o que permitiu que se verificasse uma diminuição das necessidades energéticas globais de 817,4 kWh relativamente à solução base. Este resultado é explicado, em grande parte, pelo facto dos vidros de baixa emissividade permitirem que a radiação solar incidente no vidro que é emitida para o interior da habitação seja menor do que aquela que é emitida por um vidro incolor. Este facto é responsável pelo aumento das necessidades de aquecimento na estação de aquecimento e por outro lado pela diminuição do sobreaquecimento através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento, reduzindo-se deste modo as necessidades de arrefecimento.

Para que seja mais facilmente perceptível o contributo que cada medida de melhoria estudada pode ter para que a eficiência energética do caso de estudo seja aumentada são sintetizadas no Quadro 4.1 as necessidades energéticas associadas a cada medida bem como o potencial de redução do consumo energético que lhe está associado.

Quadro 4.1 – Contributo das medidas de melhoria estudadas para o aumento da eficiência energética

Medida de melhoria	Necessidades energéticas de aquecimento	Necessidades energéticas de arrefecimento	Necessidades energéticas globais	Potencial de redução de consumo energético
Parede de Água 10 cm	10118,6	17102,5	27221,1	0,70%
Parede de Água 15 cm	9999,1	17163,0	27162,1	0,91%
Parede de Água 20 cm	9911,6	17225,5	27137,1	1,00%
Parede de Água 20 cm Piso 3	10226,1	17198,3	27424,4	-0,04%
Parede de Água 20 cm Piso 4	10141,1	16967,6	27108,7	1,1%
Sombreamento Integral	10455,1	16954,2	27409,2	0,01%
Ventilação nocturna	10416,1	16711,1	27127,2	1,04%
Optimização dos vãos envidraçados	10646,3	15948,4	26594,7	2,98%

Da análise do quadro anterior é possível obter as seguintes conclusões:

- A medida que mais contribui para otimizar o desempenho energético do caso de estudo é a optimização dos vãos envidraçados, permitindo uma poupança de 2,98% do consumo energético;
- A optimização do desempenho energético devido à implementação da Parede de Água é bastante baixa, na melhor das hipóteses permite uma poupança de 1,1% do consumo energético;
- A optimização do desempenho energético resultante do prolongamento do sombreamento vertical é insignificante, permitindo uma poupança de 0,01% do consumo energético;
- A ventilação nocturna permite obter, essencialmente, uma diminuição das necessidades de arrefecimento. A optimização do desempenho energético que lhe está associada é, no entanto bastante baixa, permitindo uma poupança de 1,04%. Sendo uma medida comportamental, a ventilação natural nocturna permite obter um desempenho semelhante à implementação da Parede de Água mas sem custos associados;
- O desempenho energético da Parede de Água varia consoante o local onde esta é implementada (para a mesma orientação solar) e é proporcional à espessura da camada de água até um determinado patamar onde o aumento da espessura de água não se traduz num aumento de eficiência considerável.

Conclui-se, portanto, que a implementação das medidas de melhoria do desempenho energético analisadas para este caso de estudo representaria uma optimização residual da sua eficiência energética. Deste modo não se justifica a execução de uma análise custo benefício pois é evidente a insustentabilidade do período de retorno de qualquer investimento.

O facto da implementação das medidas de melhoria analisadas terem um contributo residual na optimização do desempenho energético do caso de estudo é indicativo de que a optimização substancial do desempenho energético numa habitação cujas soluções construtivas iniciais têm um bom desempenho térmico é bastante difícil de se atingir com recurso a soluções passivas e que, portanto, nestes casos a eficiência energética é bastante satisfatória. Contudo, com base nas medidas de melhoria propostas no Quadro 3.4, listam-se alguns procedimentos que ao nível do utilizador poderão contribuir para que o objectivo definido seja atingido:

- Adopção de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- Aplicação de intensidade luminosa de acordo com as necessidades das actividades normalmente realizadas em cada compartimento;
- Regulação da ventilação natural.

- Accionamento dos sistemas de protecção solar nos períodos de incidência da radiação solar;

5. CONCLUSÕES

5.1 Considerações Finais

O parque edificado português, apesar de recente, apresenta grandes necessidades de reabilitação. No entanto, ao longo das últimas décadas e ao contrário do que têm sido as suas necessidades, o peso das obras de reabilitação de edifícios relativamente ao peso das obras de construção nova tem sido bastante reduzido. Esta situação tem sido uma das principais responsáveis pelo acentuado estado de degradação física e estrutural e pela inadequação funcional aos actuais padrões de conforto, segurança e salubridade em que as cidades e mais concretamente os edifícios se encontram. É, portanto evidente a necessidade de se proceder a uma reorientação estratégica no sector da habitação apostando na dinamização de políticas que conduzam à reabilitação do parque edificado.

A ineficiência energética é por seu lado resultado de grande parte dos edifícios não garantirem as condições de conforto térmico actualmente definidas como aceitáveis, levando à utilização de equipamento activos para obtenção dos níveis de conforto pretendidos pelos ocupantes.

Agrava esta situação o facto de Portugal apresentar uma elevada dependência energética que, tendo por base o constante aumento dos preços dos recursos energéticos e o impacto que a produção de energia tem para o ambiente tornam esta situação insustentável, recomendando a opção por soluções passivas.

A resolução da problemática da ineficiência energética dos edifícios do parque edificado impõe que no sector da construção se adoptem os procedimentos da Construção Sustentável, promovendo o consumo racional de energia e contribuindo para a minimização dos impactes que a construção e utilização dos edifícios tem no meio ambiente e social onde estes estão inseridos.

Deste modo e tendo por base o objectivo do presente trabalho foi criada e aplicada em caso de estudo uma metodologia de intervenção que permite determinar, com base numa análise custo-benefício, os contributos que diferentes medidas de melhoria podem ter na optimização do desempenho energético dos edifícios existentes.

A avaliação do contributo que a implementação das medidas de melhoria pode ter para o aumento da eficiência energética do caso de estudo permitiu que se verificasse, comparando os valores das necessidades energéticas globais da solução base com os valores das necessidades energéticas globais associadas à implementação de cada medida proposta, que em edifícios com nível de classificação energética em termos de certificação igual a B⁻, B, A ou A⁺ é bastante difícil de se otimizar o seu desempenho energético apenas com recurso a soluções passivas, o que conduz á conclusão de que nestes casos a eficiência energética de uma habitação é bastante satisfatória. Apesar do fraco contributo que as medidas estudadas têm na melhoria do desempenho energético do presente caso de estudo, em

habitações com classe energética inferior às referidas, estas medidas poderão contribuir significativamente para a optimização do seu desempenho energético.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

As temáticas da reabilitação de edifícios, da construção sustentável e da eficiência energética são assuntos extensos que não se extinguem no trabalho desenvolvido.

Com base nas conclusões deste trabalho considera-se importante que se façam novos estudos que contemplem a implementação, em simultâneo, de algumas das medidas propostas, de modo a que se obtenha um aumento da eficiência superior ao verificado. Tendo em conta que não se conseguiram obter resultados de poupança energética significativa implementando as medidas propostas num edifício cujas soluções construtivas iniciais têm um bom desempenho térmico, considera-se ainda importante que se avaliem os contributos que as soluções propostas, ao nível do utilizador, podem ter na optimização do desempenho energético deste tipo de edifícios e que a metodologia desenvolvida neste trabalho seja implementada em obras de reabilitação de edifícios com estado de conservação pior do que o abordado no presente caso de estudo. Para que tal suceda é necessário que se desenvolvam estudos dos padrões comportamentais dos utilizadores dos edifícios, para as diferentes zonas do País.

Apesar da implementação da análise custo-benefício não se ter revelado necessária para análise do caso de estudo, considera-se que esta poderá ser melhorada interligando a MARS-SC com os Sistemas de Certificação da Construção Sustentável, garantindo deste modo a aplicação mais eficaz dos princípios da Construção Sustentável.

Outro desenvolvimento futuro importante seria desenvolver um estudo comparativo da Parede de Água com outras paredes de sistemas solar passivos, como a Parede de Trombe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - INE - *Censos 2011 - Resultados Provisórios*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2011.
- [2] - INE - *Estatísticas da Construção e Habitação 2010*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2011.
- [3] - PAIVA, J. V., et al. - *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Lisboa, Instituto Nacional da Habitação, LNEC, 2006.
- [4] - INE - *Censos 2011 - Resultados Preliminares*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2011.
- [5] - INE - *Censos 2001 - Resultados Definitivos*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2002.
- [6] - INE - *Retrato Territorial de Portugal 2007*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2009.
- [7] - RODRIGUES, M. – *Estado de Conservação de Edifícios de Habitação a Custos Controlados*. Aveiro, Universidade de Aveiro, 2008.
- [8] - PEDRO, J. B.; VILHENA, A; PAIVA, J. V.; PINHO, A. - *Métodos de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios desenvolvidas no LNEC*. Lisboa, LNEC, 2011.
- [9] - VILHENA, A. - *Métodos de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2011.
- [10] - RODRIGUES, D. - *A Evolução do parque habitacional português: Reflexões para o futuro*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2011.
- [11] - INE - *Atlas das Cidades de Portugal - Volume II*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2004
- [12] - ALP - *Retrato da Habitação em Portugal: Características e Recomendações*.Lisboa, Associação Lisbonense de Proprietários, 2011.
- [13] - CML - *Estratégia de Reabilitação Urbana de Lisboa – 2011/2024*. Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa, 2011.
- [14] - ANSELMO, I.; NASCIMENTO, C.; MALDONADO, E. - *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004.
- [15] - AECOPS - *O Mercado da Reabilitação – Enquadramento, Relevância e Perspectivas*. Lisboa, Associação de Empresas de Construção Obras Públicas e Serviços, 2009.
- [16] - HENRIQUES, F. - *A conservação do património histórico edificado - Memória 775*. Lisboa, LNEC, 1991. Memória 775.
- [17] - APPLETON, J. - *Conferência Reabilitação Sustentável-Casos práticos de intervenções em edifícios antigos*.Monte da Caparica, Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [18] - IHRU - *Reabilitar para Habitar*. Lisboa, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2008.

- [19] - IHRU - *Relatório de monitorização dos programas: SOLARH, RECRIA, REHABITA RECRIPH, PROHABITA, PER, ACORDOS DE COLABORAÇÃO, INCÊNDIOS - 2007 e 2008*. Lisboa, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2009.
- [20] - GOVERNO DE PORTUGAL - *Tradução do conteúdo do memorando de entendimento sobre as condicionalidades da política económica*. Lisboa, Governo de Portugal, 2011.
- [21] - PEDRO, J. B.; VILHENA, A.; PAIVA, J. V. - *Método de Avaliação do estado de Conservação de Imóveis- Desenvolvimento e aplicação*.Lisboa, LNEC, 2009.
- [22] - IHRU - Benefícios Fiscais, s/d. <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/apoios/incentivosfiscais.html> (21/03/2012)
- [23] - JESSICA HOLDING FOUND PORTUGAL, s/d. <http://www.fundojessicaportugal.org/> (21/03/2012).
- [24] - HENRIQUES, F. - *Humidade em Paredes*.Lisboa, LNEC, 2007.
- [25] - VEIGA, M. R. - *Comportamento de argamassa de revestimento de paredes-Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Lisboa, LNEC, 1998.
- [26] - VEIGA, M. R. - *Comportamento à fendilhação de rebocos: avaliação e melhoria*. Cadernos Edifícios n.º 3, p. 7-27. Lisboa, LNEC, 2004.
- [27] - AELENEI, D. - *Apontamentos das aulas teóricas de Edificações*. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [28] - LOPES, T. - *Reabilitação sustentável de edifícios de habitação*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [29] - QUERCUS - *Projecto EcoFamílias-Relatório Final*. Lisboa, QUERCUS, 2008.
- [30] - BRAGANÇA L.; MATEUS, R. - *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Porto, Edições Ecopy, 2006.
- [31] - BCSD PORTUGAL - *Manual de boas práticas de eficiência energética*. Lisboa, BCSD Portugal, 2005.
- [32] - RODRIGUES, A.; PIEDADE, A. C.; BRAGA, A. - *Térmica de Edifícios*.Amadora, Edições Orion, 2009.
- [33] - DGGE - *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004.
- [34] - LISBOA E-NOVA - *PNAEE – Resolução Conselho de Ministros n.º 80/2008- Breve Resumo medidas relevantes para Reabilitação*, s/d. http://lisboaenova.org/images/stories/PNAEE_Resumo_para_reabilitacao.pdf (21/03/2012).

- [35] - SILVA, A. - *Potencial de Poupança Energética no Parque Residencial Português*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [36] - INAG - *Consumo de Água em Portugal*, s/d. <http://portaldaagua.inag.pt/PT/InfoUtilizador/UsoEficiente/Pages/ConsumoPortugal.aspx> (21/03/2012).
- [37] - CARDOSO, T. - *O uso eficiente da água nos edifícios de habitação*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [38] - EUROSTAT - *Energy, transport and environment indicator*. Luxemburgo, EUROSTAT-CE, 2008.
- [39] - SCE - *Caderno temático nº1*. Lisboa, SCE, 2009.
- [40] - INE; DGEG - *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010-Edição 2011*. Lisboa, INE; DGEG, 2011.
- [41] - COMISSÃO EUROPEIA - *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu ,ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões - Plano de Eficiência Energética de 2011*.Bruxelas, Comissão Europeia, 2011.
- [42] - ADENE - *Directiva Comunitária 2002/91/CE*, s/d. <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Legislacao/Comunitaria/Paginas/Directiva2002.aspx> (21/03/2012).
- [43] - PARLAMENTO EUROPEU - *Parlamento Europeu fecha pacote clima-energia: "três vintes" até 2020*, (17/12/2008). <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=IM-PRESS&reference=20081216IPR44857&language=PT> (21/03/2012).
- [44] - DGEG - *Portugal Eficiência 2015 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética*, (02/2008). http://www.renae.com.pt/fich/22/02_ADENE.pdf (21/03/2012).
- [45] - FONSECA, P.; ALMEIDA, A.; NUNES, U. - *Research results and policy recommendations of the IDEAL EPBD project addressing effective EPBD implementation and the Energy performance Certificate*.Portugal, 2011.
- [46] - TIRONE NUNES - *Total de certificados emitidos*, s/d. <http://www.casacertificada.pt/documentacao> (21/03/2012).
- [47] - ADENE - *Relatório Síntese Setembro de 2011*, (09/2011). http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/Relatorio%20Sintese_Setembro%20de%202011.pdf (21/03/2012).
- [48] - BAPTISTA, P. - *Estratégia Nacional para a Energia 2020*. Coimbra, ADENE, 2011.
- [49] - Decreto-Lei nº79/2006. Diário da República (I Série-A). (2006.04.04). pgs 2416-2468.

- [50] - Decreto-Lei nº80/2006. Diário da República (I Série-A). (2006.04.04). pgs 2468-2513.
- [51] - AELENEI, D. - *RCCTE "Light"-Versão provisória*. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [52] - Maldonado, E. - *As Políticas Nacional e Europeia para os Edifícios: Objectivos a atingir*, Lisboa, 10's Jornadas da Climatização, 2010.
- [53] - Revista Climatização - *EPBD: nova Directiva europeia quase a chegar*. Revista Climatização, nº 68, pp. 26. Medialine, Março/Abril de 2010.
- [54] - PINHEIRO, M. D. - *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006.
- [55] - AMADO, M. et al. - *O Processo da Construção Sustentável*. Estoril, 1º Congresso Lusófono sobre Ambiente e Energia., 2009.
- [56] - CÓIAS, V. - *Reabilitação: a melhor via para a Construção Sustentável*. Lisboa, 2004.
- [57] - GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M. - *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004.
- [58] - OLIVEIRA, F. - *Aproveitamento de Água Pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade*. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008.
- [59] - CEPINHA, E.; SANTOS, S. - *Implementação de um Sistema de Avaliação de Desempenho Ambiental da Construção – LEED*. Lisboa, Sustentare, 2009.
- [60] - FREITAS, V. - *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior reboco armado sobre poliestireno expandido - ETICS*. Porto, MaxitGroup, 2002.
- [61] - MENDONÇA, P. - *Habitar sob uma Segunda Pele -Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*. Braga, Universidade do Minho, 2005.
- [62] - SANTOS, C. P. - *Evolução das soluções das paredes face às novas exigências regulamentares*- Seminário sobre Paredes de Alvenaria. Braga, Universidade do Minho, 2007.
- [63] - MENDÃO, J. - *Sistema ETICS – Influência no comportamento dos edifícios*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [64] - PEDRO, J. B.; VILHENA, A; PAIVA, J. V.; PINHO, A. - *Método de Avaliação do estado de Conservação de Imóveis. Desenvolvimento e aplicação*. Revista Engenharia Civil, nº 35, pp. 57-73. Universidade do Minho, 2009.

- [65] - ABRANTES, J. - *Implicações do conforto térmico no consumo energético: uma hipótese de modelo adaptativo aplicada ao Verão*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [66] - ENERGYPLUS - *Getting Started with EnergyPlus - Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus*. Illinois, US Department of Energy, 2010.
- [67] - AFONSO, J. - *Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [70] - AMADO, M. - *Energy Conservation in Habitation Buildings and the Level of Environmental Comfort. Housing Construction – An Interdisciplinary Task*. Coimbra, Wide Dreams – Projectos Multimédia, 2002.
- [71] - OASRS. *Dossier 11- Encontros 2*. Lisboa, Ordem dos Arquitectos Secção Regional do Sul, 2011.
- [72] - COSTA, J. G. - *A Água como elemento termo-regulador na Arquitectura*, Tese de Mestrado em Arquitectura. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade de Arquitectura, 2005.
- [73] - MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. – *Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas* - Congresso sobre construção sustentável: actas. Leça da Palmeira, Universidade do Minho, 2004.
- [74] - GOMES, M. - *Construção Sustentável: Contributo da utilização da Parede de Trombe*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil . Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [75] - FERNANDES, F. - *Análise de soluções construtivas com recurso à Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade*. Anadia, Congresso de Inovação na Construção Sustentável-CINCOS'10, 2010.
- [76] - SANTOS, C.; MATIAS, L.- *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50*. Lisboa, LNEC, 2006.
- [77] – SIMULADOR DE POTÊNCIA A CONTRATAR, s/d.
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/simuladores/simuladordepotenciaacontratar/Documents/ERSEkw.html> (21/03/2012).

ANEXOS

ANEXO I

FICHA DE AVALIAÇÃO DO MAEC



NRAU – NOVO REGIME DE ARRENDAMENTO URBANO
Ficha de avaliação do nível de conservação de edifícios
 (Portaria n.º 1192-B/2006, de 3 de Novembro)

código do técnico _____ número da ficha _____

A. IDENTIFICAÇÃO

Rua/Av./Pc.: Praceta Projectada ao Largo do Molho Pequeno
 Número: 6 Andar: 2º Localidade: Barreiro Código postal: 2830 - 316 Barreiro
 Distrito: Setúbal Concelho: Barreiro Freguesia: Barreiro
 Artigo matricial: _____ Fracção: _____ Código SIG (facultativo): _____

B. CARACTERIZAÇÃO

N.º de pisos do edifício 1 | 5 | N.º de unidades do edifício 1 | 3 | Época de construção Posterior a 1982 Tipologia estrutural Betão Armado N.º de divisões da unidade 1 | 8 | Uso da unidade Habitação

C. ANOMALIAS DE ELEMENTOS FUNCIONAIS

	Anomalias					Não se aplica	Ponderação	Pontuação
	Muito ligeiras (5)	Ligeiras (4)	Médias (3)	Graves (2)	Muito graves (1)			
Edifício								
1. Estrutura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		x 6 =	30
2. Cobertura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		x 5 =	25
3. Elementos salientes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
Outras partes comuns								
4. Paredes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
5. Revestimentos de pavimentos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10
6. Tectos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10
7. Escadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
8. Caixilharia e portas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10
9. Dispositivos de protecção contra queda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
10. Instalação de distribuição de água	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
11. Instalação de drenagem de águas residuais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
12. Instalação de gás	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
13. Instalação eléctrica e de iluminação	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
14. Instalações de telecomunicações e contra a intrusão	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
15. Instalação de ascensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
16. Instalação de segurança contra incêndio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
17. Instalação de evacuação de lixo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
Unidade								
18. Paredes exteriores	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		x 5 =	20
19. Paredes interiores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	9
20. Revestimentos de pavimentos exteriores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10
21. Revestimentos de pavimentos interiores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 4 =	20
22. Tectos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 4 =	20
23. Escadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 4 =	20
24. Caixilharia e portas exteriores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		x 5 =	25
25. Caixilharia e portas interiores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
26. Dispositivos de protecção de vãos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10
27. Dispositivos de protecção contra queda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 4 =	20
28. Equipamento sanitário	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	x 3 =	
29. Equipamento de cozinha	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
30. Instalação de distribuição de água	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
31. Instalação de drenagem de águas residuais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
32. Instalação de gás	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
33. Instalação eléctrica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 3 =	15
34. Instalações de telecomunicações e contra a intrusão	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 1 =	5
35. Instalação de ventilação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	8
36. Instalação de climatização	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	x 2 =	
37. Instalação de segurança contra incêndio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 2 =	10

D. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ANOMALIAS

Total das pontuações _____
 Total das ponderações atribuídas aos elementos funcionais aplicáveis _____
 Índice de anomalias _____

(a) 462
 (b) 95
 (a/b) 4,86

E. DESCRIÇÃO DE SINTOMAS QUE MOTIVAM A ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE ANOMALIAS "GRAVES" E/OU "MUITO GRAVES"

Número do elemento funcional	Relato síntese da anomalia	Identificação das fotografias ilustrativas
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

F. AVALIAÇÃO

Com base na observação das condições presentes e visíveis no momento da vistoria e nos termos do artigo 6.º da Portaria 1192-B/2006, de 3 de Novembro, declaro que:

▪ O estado de conservação do locado é:
Excelente ☒ Bom ☐ Médio ☐ Mau ☐ Péssimo ☐

▪ O estado de conservação dos elementos funcionais 1 a 17 é _____ (a preencher apenas quando tenha sido pedida a avaliação da totalidade do prédio)

▪ Existem situações que constituem grave risco para a segurança e saúde públicas e/ou dos residentes: Sim ☐ Não ☒

G. OBSERVAÇÕES

.....
.....
.....
.....
.....

H. TÉCNICO

Nome do técnico:.....

Data de vistoria: 14 / 03 / 2012

I. COEFICIENTE DE CONSERVAÇÃO (preenchimento pela CAM)

Nos termos do disposto na alínea c), do n.º 1, do artigo 49.º da Lei n.º 6/2006, de 27 de Fevereiro, e no artigo 15.º do Decreto-Lei n.º 161/2006, de 8 de Agosto, declara-se que o locado acima identificado possui o seguinte Coeficiente de Conservação:

Data de emissão: ____ / ____ / ____

(Validade: 3 anos)

(O preenchimento da ficha deve ser realizado de acordo as instruções de aplicação disponibilizadas no endereço electrónico www.portaldahabitacao.pt/nrau)

ANEXO II

COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ADOPTADAS

Parede Exterior 1				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,13	0,40
Estuque	0,015	0,3	0,05	
Tijolo (20 cm)	0,2	-	0,52	
EPS	0,06	0,04	1,5	
Painel Fenólico	0,005	0,0625	0,08	
Caixa de ar (8cm)	0,08	-	0,18	
Rse	-		0,04	

Parede Exterior 2				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,13	0,44
Estuque	0,02	0,3	0,067	
Tijolo (20 cm)	0,2	-	0,52	
EPS	0,06	0,4	1,5	
Rse	-		0,04	

Parede Interior 1				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,13	2,44
Betão armado	0,2	2	0,1	
Estuque	0,015	0,3	0,05	
Rse	-		0,13	

Parede Interior 2				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,13	1,72
Estuque	0,015	0,3	0,05	
Tijolo (11 cm)	0,11	-	0,27	
Tijolo (11 cm)	0,11	-	0,27	
Reboco	0,015	1,3	0,011	
Rse	-		0,13	

Parede Interior 3				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,13	1,14
Estuque	0,015	0,3	0,05	
Tijolo (20 cm)	0,2	-	0,52	
Estuque	0,015	0,3	0,05	
Rse	-		0,13	

Pavimento Exterior				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,17	0,44
Pavimento Flutuante	0,01	0,07	0,167	
Betonilha de regularização	0,04	1,65	0,024	
Betão isolante	0,04	0,2	0,2	
Membrana isolante	0,003	0,04	0,08	
Betão armado	0,2	2	0,1	
EPS	0,06	0,04	1,5	
Rse	-		0,04	

Pavimento Interior				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,17	1,09
Pavimento Flutuante	0,01	0,07	0,167	
Betonilha de regularização	0,04	1,65	0,024	
Betão isolante	0,04	0,2	0,2	
Membrana isolante	0,003	0,04	0,08	
Betão armado	0,2	2	0,1	
Reboco	0,01	1,3	0,08	
Rse			0,17	

Cobertura Interior				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,17	1,09
Pavimento Flutuante	0,01	0,07	0,167	
Betonilha de regularização	0,04	1,65	0,024	
Betão isolante	0,04	0,2	0,2	
Membrana isolante	0,003	0,04	0,08	
Betão armado	0,2	2	0,1	
Estuque	0,01	0,3	0,033	
Rse			0,17	

Cobertura Exterior				
Elemento	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Rsi	-		0,10	0,60
Telha	0,025	0,06	0,167	
XPS	0,04	0,037	0,024	
Betão armado	0,2	2	0,2	
Caixa de ar (20 cm)	0,2	-	0,16	
Gesso cartonado	0,02	0,25	0,1	
Reboco	0,015	1,3	0,033	
Rs	-		0,04	

Os valores da condutibilidade térmica foram retirados do ITE 50, de fichas técnicas do material e cedidos pelo perito qualificado que efectuou a certificação energética do caso de estudo.